

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Srovnání provozu malých hybridních systémů.
Comparison of Small Hybrid Systems Running.

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Kubačák**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Srovnání provozu malých hybridních systémů.
Comparison of Small Hybrid Systems Running.**

Zásady pro vypracování:

1. Obecný popis ostrovních systémů.
2. Popis vybraných ostrovních provozů.
3. Analýza provozních stavů.
4. Vyhodnocení provozu ostrovních systémů.
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] Zhou W, Lou C, Li Z, Lu L, Yang H. Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar-wind power generation systems. *Applied Energy* 2010; 87(2):380-9.
[2] Kaabeche A, et al., Sizing optimization of grid-independent hybrid photovoltaic/wind power generation system, *Energy* (2010), doi:10.1016/j.energy. 2010.11.024
[3] NASA Surface meteorology and Solar Energy [online]. 2011-[cit. 2011-02-16] Available from: <<http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?&step=1&submit=Submit>>
[4] AIR BREEZE [online]. 2011-[cit. 2011-02-16]. Avail-able from: <<http://airbreeze.com/index.php?q=land/product-info/product-data-sheets>>.
[5] SAWT [online]. 2011-[cit. 2011-02-16]. Available from: <http://www.sawt.com.cn/pictures/wind%20power%20curve%20of%20200-p.jpg>

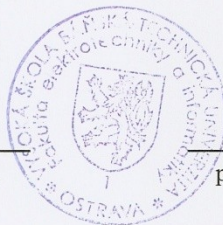
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

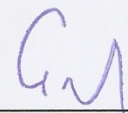
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Lukáš Prokop, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

„Na tomto místě bych velice rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Lukáši Prokopovi, Ph.D., z a vytrvalost a trpělivost při řešení mé diplomové práce.“

V Ostravě dne

.....

Tomáš Kubačák

Abstrakt

Zadáním diplomové práce bylo srovnání provozu malých hybridních systémů. V první části práce jsou obecně popsány a rozčleněny ostrovní systémy se zohledněním situace na trhu a novými trendy s použitím hybridních systémů. V této kapitole jsou dále detailněji popsány obnovitelné zdroje používané v hybridních systémech, slunce a vítr včetně popisu akumulace elektrické energie.

Další část práce je zaměřena na popis pilotního hybridního systému vybudovaného v areálu VŠB-TU Ostrava. Součástí tohoto je i popis podružných systémů a kompletní výzbroje celého hybridního systému. V následující kapitole byly popsány provozní stavy hybridního napájecího systému. Dále byly analyzovány a detailně popsány všechny veličiny za sledované období čtrnácti měsíců. V poslední kapitole došlo ke srovnání všech zdrojů dle koeficientu využití, byla určena účinnost všech energetických transformací systému, dále bylo analyzováno dobíjení akumulátoru a jako stěžejním kritériem bylo určení energetické bilance celého hybridního systému.

Klíčová slova

Monitorovací systém, hybridní napájecí systém, fotovoltaická elektrárna, větrná elektrárna, obnovitelné zdroje energie, výkon, účinnost, ostrovní systém, baterie, regulátor, střídač, ztráty.

The abstract

By entering this thesis was to compare the operation of small hybrid systems. In the first part are generally described and organized island systems, taking into account the market situation and new trends using hybrid systems. This chapter also describes in detail the resources used in hybrid systems, sun, wind, including a description of the accumulation of electrical energy.

Another part of the work is focused on the description of the pilot hybrid system built on site VSB-TU Ostrava. Part of this is the description of the secondary equipment systems and complete the entire hybrid system. The next chapter describes the operating conditions of the hybrid power system. Were analyzed and described in detail all the variables in the period of 14 months. In the last chapter there was a comparison of all resources according to utilization factor was determined by the efficiency of energy conversion system, as well as recharging battery has been analyzed and as a key criterion for determining the energy balance of the whole hybrid system.

Keywords

Monitoring system, hybrid power systems, photovoltaic power, wind power, renewable energy, power, efficiency, island system, battery, controller, inverter losses.

Seznam použitých symbolů a zkratk

AC	angl. Alternativ current, střídavý proud
Ah	amper hodina
cRIO	měřicí monitorovací systém
DC	angl. Direct current, stejnosměrný proud
eV	elektron volt, jednotka práce a energie mimo soustavu SI
FVČ	fotovoltaický článek
FVE	fotovoltaická elektrárna
H ₂	vodík, chemický prvek
H _z	hertz, jednotka frekvence
K	kelvin, jednotka teploty
Li-ion	litium iontový, sloučenina
Li-Pol	lithium polymerový, sloučenina
m/s	metr za sekundu, jednotka rychlosti
Ni-Cd	nikl kadmium, sloučenina
Nm	výška nad mořem
ot.min ⁻¹	otáčky za minutu, jednotka rychlosti
MS excel	tabulkový editor sady Microsoft office
OZE	obnovitelné zdroje energie
Pb	olovo, chemický prvek
V	volt, jednotka el. Napětí
VO	veřejné osvětlení
VTE	větrná elektrárna
W	jednotka el. výkonu
Wp	angl. watt-peak, špičková hodnota el. výkonu
W.h	watthodina, jednotka el. energie
W.m ⁻²	watt na metr čtverční, jednotka energetické hustoty
η	účinnost systému, udávaná v %

Obsah

1	Úvod	7
2	Obecný popis ostrovních systémů	9
2.1	Členění ostrovních systémů	10
2.1.1	Ostrovní systémy s přímým napájením	10
2.1.2	Ostrovní systémy s akumulací elektrické energie	10
2.1.3	Hybridní ostrovní systémy	11
2.1.4	Malé ostrovní systémy	12
2.2	Akumulace elektrické energie	13
2.2.1	Olovněné akumulátory	13
2.2.2	Bezúdržbové akumulátory VRLA – Valve Regulated Lead Acid batteries	14
2.2.3	Superkondenzátory	14
2.2.4	Lithium-iontové baterie	15
2.2.5	Setrvačníky	16
2.2.6	Lithium-polymerové baterie	16
2.2.7	Ukládání ve formě vodíku	17
2.3	Energie ze Slunce	18
2.3.1	Fotovoltaické elektrárny	24
2.3.2	Situace v České republice	26
2.3.3	Princip fotovoltaických jevů	19
2.3.4	Rozdělení a popis fotovoltaických článků	21
2.3.5	Nové koncepty fotovoltaických článků	23
2.4	Větrné elektrárny	28
2.4.1	Historie vývoje větrných elektráren	28
2.4.2	Větrná energie	29
2.4.3	Rozdělení větrných elektráren	30
2.4.4	Princip větrné elektrárny	31
2.4.5	Volba vhodné lokality	35
3	Popis hybridního ostrovního systému na VŠB – TUO	37
3.1	Hybrid 1 pravý sloup	38
3.2	Hybrid 2 levý sloup	41
3.3	Rozvaděč	43
3.4	Monitorovací systém	47
4	Analýza provozních stavů	49
4.1	Analýza a popis měřených veličin hybridního systému	50
4.2	Analýza účinnosti hybridního systému	52
5	Vyhodnocení provozu ostrovních systémů	54
5.1	Analýza pomocí činných toků zdrojů	55
5.2	Analýza dobíjení akumulátoru	57
5.3	Koeficient využití jednotlivých zdrojů	61
5.4	Účinnosti měničů napětí hybridního systému	63
5.5	Energetická bilance celého hybridního systému	65
6	Závěr	66
7	Seznam použité literatury	68
8	Seznam příloh	Chyba! Záložka není definována.

1 Úvod

Mezi nejdynamičtěji rozvíjející zdroje el. energie bezpochyby patří fotovoltaické a větrné elektrárny, které jsou použity pro různé napěťové a výkonové hladiny. Tyto obnovitelné zdroje jsou však pro napájení přenosové a distribuční sítě nestabilní a způsobují tak nemalé problémy provozovatelům přenosových a distribučních sítí. Tomuto lze předcházet provozováním autonomní ostrovní sítě fungující nezávisle na elektrické rozvodné síti. Lze vytvořit tedy izolovanou energetickou soustavu, ze které jsou napájeny spotřebiče pro běžnou spotřebu domácnosti, nebo lze uskladnit vyrobenou energii v podobě různých akumulčních zařízení a systémů, zvláště pak pro menší výkony výrobních zdrojů. Tento systém dvou nebo více obnovitelných zdrojů pracujících do jedné izolované soustavy ve stejné lokalitě se dá nazvat hybridním systémem.

Zadáním diplomové práce bylo srovnání provozu malých hybridních systémů. V úvodní části diplomové práce jsem se zaměřil na obecný popis ostrovních systémů. V této kapitole jsou rozčleněny ostrovní systémy dle implementace jejichž použití až po použití systémů s akumulací el. energie tedy hybridních systémů. Dále navazuje popis systému akumulace el. energie jejich princip a konstrukce. V úvodní kapitole jsou také popsány principy funkce přeměny slunečního záření na elektrickou energii, tedy princip fotovoltaického článku a také nové trendy v konstrukci a výrobě solárních panelů. Popisuje se zde i princip druhého zdroje hybridního systému, tedy popis přeměny energie větru na el. energii, konstrukce větrných elektráren, volba vhodné lokality pro stavbu větrné elektrárny atd.

Další částí diplomové práce je popis konkrétního systému. V areálu VŠB-TU Ostrava v rámci projektu Zelená energie Skupiny Čez byl vytvořen ostrovní hybridní systém. Jedná se o dva fotovoltaické panely odlišných typů, z nichž jeden polykrystalický a druhý multikrystalický. Dále pak o dvě malé větrné elektrárny z nichž jedna s horizontální a druhá s vertikální osou otáčení, tyto zdroje elektrické energie pracují do ostrovního systému a vyrobená energie z těchto zdrojů je akumulována do baterií. Z baterií je pak v nočních hodinách napájena zátěž v podobě veřejného osvětlení. Kombinace těchto dvou zdrojů el. energie doprovází skutečnost, že v zimním období převažuje dodávka el. energie větrnou elektrárnou, naopak v letním období je výroba energie hrazena převážně s fotovoltaických panelů. Tento systém je rozdělen na tři části, dva sloupy veřejného osvětlení a rozvaděč. Na každém sloupu je umístěna jiná technologie přeměny větrné a sluneční energie a také jiný spotřebič ve formě svítidel veřejného osvětlení. Součástí tohoto popisu je i popis monitorovacího

systému cRIO, který měří výkonové parametry, tedy hodnoty jednotlivých proudů a napětí příslušných větví obvodu a poskytuje tyto hodnoty k další analýze.

Následující kapitole tvoří analýza provozních stavů. Monitorovacím systémem je měřeno celkem deset proudových a sedm napěťových signálů o různých velikostech a povahách. Naměřené hodnoty za sledované období třinácti měsíců byly importovány do editoru MS Excel, kde se dále zpracovávaly a vyhodnocovaly.

V poslední kapitole na základě hodnot zaznamenaných monitorovacím systémem došlo ke srovnání a vyhodnocení všech zdrojů dle koeficientu využití, byla určena účinnost všech energetických transformací systému, dále bylo analyzováno dobíjení akumulátoru a jako stěžejním kritériem určení energetické bilance celého hybridního systému.

2 Obecný popis ostrovních systémů

V dnešní době je elektřina nejběžnějším zdrojem energie v lidském životě. Vzhledem ke zlepšování životní úrovně se závislost na elektřině stává stále silnější. V odlehlých oblastech, kde jsou spotřeby elektrické energie relativně malé a rozptýlené a vytvoření distribuční sítě by bylo příliš nákladné, energie by měla být generována lokálně. Jednou z možností je využití dieselaagregátu, ovšem náklady na přepravu a skladování nafty jsou poměrně vysoké. Jako přijatelné řešení se jeví využití ostrovních systémů, bez nutnosti připojení k distribuční síti. Daleko od veřejné elektrické sítě jsou tedy ostrovní napájecí systémy ideálním zdrojem potřebné elektrické energie.

Ostrovní systémy fungují nezávisle na rozvodné elektrické síti, tvoří tedy izolovanou energetickou soustavu, ze které jsou napájeny spotřebiče pro běžnou spotřebu domácností.

Mezi největší výhody patří skutečnost, že jako zdroje elektrické energie jsou využity alternativy obnovitelných zdrojů, jako jsou fotovoltaické elektrárny (FVE), větrné elektrárny (VTE), malé vodní elektrárny, bioplynové agregáty, palivové články atd. Typ napájecího zdroje je závislý na geografických a meteorologických podmínkách dané lokality. Použitím dvou a více jmenovaných zdrojů s kombinací akumulace vyrobené energie do akumulátorů, lze tento systém označit jako hybridní. Nejčastějším použitím hybridních systémů je kombinace fotovoltaické a větrné elektrárny, jelikož tyto dva zdroje se vzájemně doplňují. Vyplývá to ze skutečnosti, že zataženou oblohu doprovázejí poryvy větru, které uvádějí do provozu větrnou elektrárnu a je tedy zajištěna dodávka energie z VTE. Naopak v případě jasné oblohy a slunečního záření je elektrická energie dodávána převážně z FVE. Stejně tak v zimním období je energie dodávána převážně z větrné elektrárny a v letním období zase vesměs z fotovoltaických elektráren. Je zde také možnost provozovat systém jen z fotovoltaické elektrárny, ovšem celý hybridní systém je potřeba značně naddimenzovat. Výjimečně se stává, že by ani jeden z těchto obnovitelných zdrojů (OZE) nebyl dostačující pro napájení baterií. Existuje proto i možnost v podobě doplňkového zdroje energie jako například dieselaagregátu nebo elektrické přípojky z distribuční sítě. Tato varianta je však využívána velice zřídka.

Dle velikosti instalovaného výkonu na jednotlivých FVE, VTE a kapacity akumulačních zařízení, lze ostrovní systémy využít pro zařízení domácností o výkonech řádově jednotek kilowattů až po napájení sektorů celých obcí v řádech megawattů.

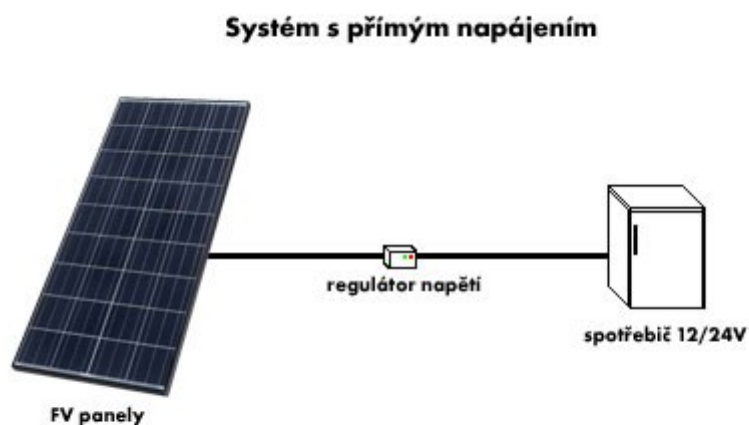
Výstavba elektrické přípojky například v případě jachty, odlehlého karavanu apod. je technicky i finančně náročné. Řešením takové situace může být ostrovní systém stvořený z fotovoltaické elektrárny. Při budování ostrovního systému je vhodné volit odpovídající spotřebiče pracující na stejnosměrný proud (DC). V dnešní době je možné na DC proud provozovat televize, rádia, lednice, čerpadla apod. DC proud lze pomocí měniče přetransformovat na střídavý proud (AC), což znamená větší investici. U menších instalovaných výkonů, tzn. do 0,5 kW je výhodnější používat spotřebiče na DC proud.

2.1 Členění ostrovních systémů

V této podkapitole je uvedeno základní členění ostrovních systémů.

2.1.1 Ostrovní systémy s přímým napájením

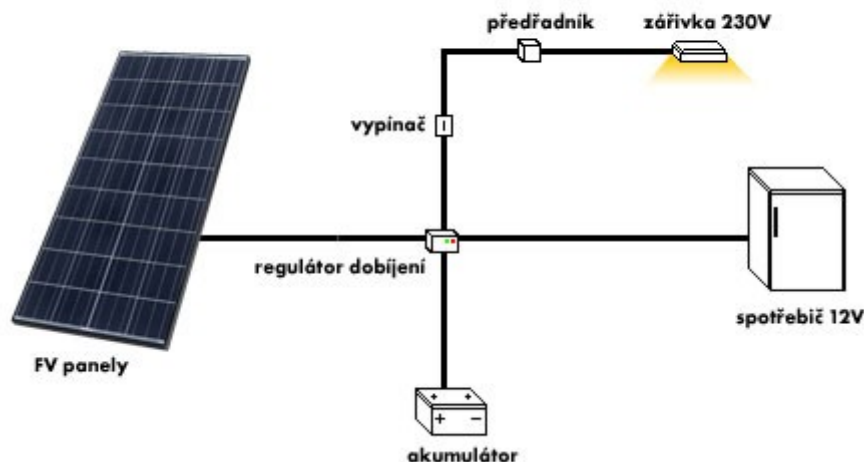
Tato možnost se využívá v případech, kdy připojené zařízení pracuje s DC proudem a je funkční jen po dobu intenzity slunečního záření. Jedná se o propojení fotovoltaické elektrárny a spotřebiče přes regulátor napětí. Tato varianta se například používá pro čerpání užitkové vody, pohon protislunečních clon, nabíjení akumulátorů malých výkonů, jakou jsou mobilní telefony, notebooky apod.



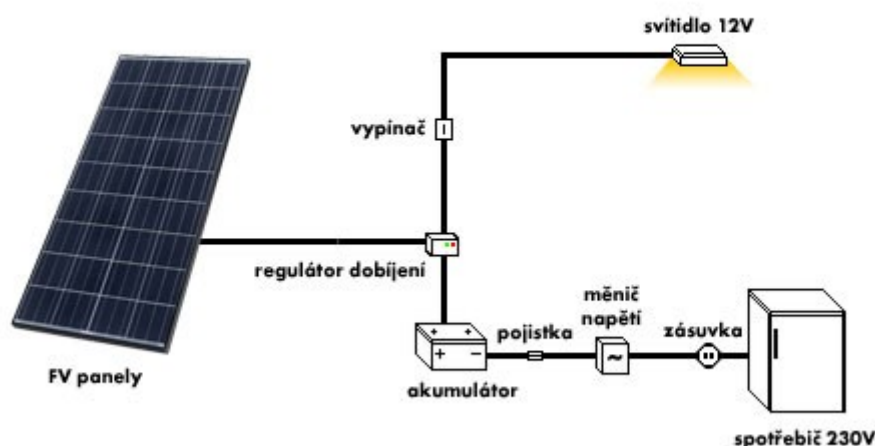
Obr. 2.1 Systém s přímým napájením [4]

2.1.2 Ostrovní systémy s akumulací elektrické energie

Tato možnost se používá v případech, kdy je potřeba čerpat elektřinu i v době bez slunečního záření. Proto mají tyto ostrovní systémy speciální akumulátorové baterie, které jsou specifické pro pomalé nabíjení a vybíjení. Klasické startovací baterie se zde nehodí, protože jsou konstruovány pro vysoký proud za krátkou dobu. Optimální nabíjení a vybíjení akumulátorů zajišťuje regulátor dobíjení. K ostrovnímu systému lze připojit spotřebiče napájené DC proudem, zpravidla 12V nebo 24V, případně přes napěťový střídač běžné síťové spotřebiče 230V/~50Hz. Tuto variantu lze využít jako zdroj elektrické energie pro chaty, napájení světelných reklam, napájení dopravní signalizace apod.

Systém s akumulací elektrické energie (12/24V)

Obr. 2.2 Systém s akumulací energie 12V nebo 24V [4]

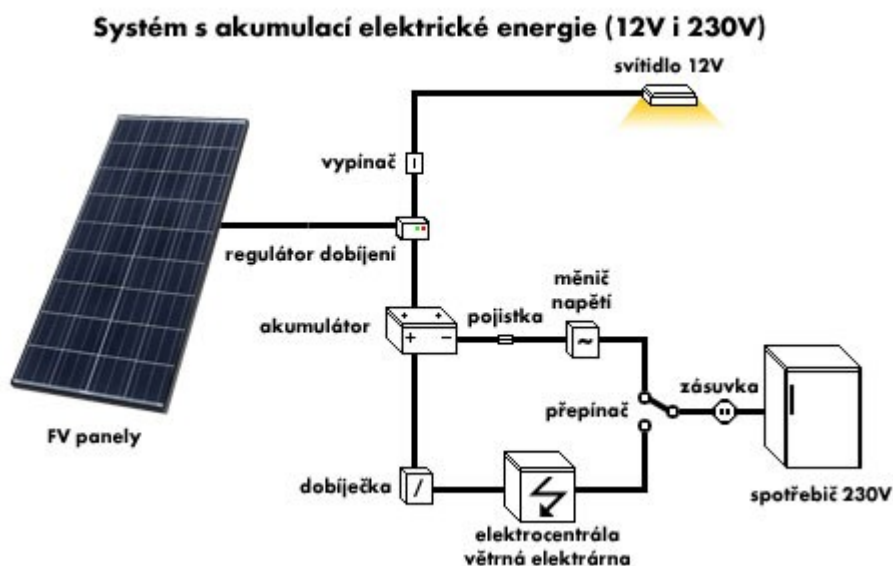
Systém s akumulací elektrické energie (12V i 230V)

Obr. 2.3 Systém s akumulací elektrické energie 230V/~50Hz [4]

2.1.3 Hybridní ostrovní systémy

Tato možnost se používá v případech, kdy je nutný celoroční provoz ostrovního systému a je zde možnost připojení spotřebiče s větším instalovaným příkonem. V letních měsících je větší podíl dodávky elektrické energie z fotovoltaické elektrárny, v zimních měsících je možno získat energii z rozšíření systému doplňkovým zdrojem elektřiny, jako je větrná elektrárna, diesela agregát,

kogenerační jednotka apod. Tyto doplňkové zdroje pokryjí spotřebu elektrické energie v obdobích s nedostatečným slunečním svitem a systém je schopen provozovat spotřebiče i s větším instalovaným výkonem.



Obr. 2.4 Hybridní ostrovní systém [4]

2.1.4 Malé ostrovní systémy

Jedná se o malé kapesní aplikace, které jsou instalovány např. v kalkulačkách, budících, rádiích a podobné elektronice, která nemá příliš velkou spotřebu elektrické energie. Fotovoltaické články ve spojení s menšími přístroji každodenní potřeby pomáhají redukovat nebezpečné odpady v podobě alkalických baterií, které by bylo nutné jinak použít pro provoz těchto přístrojů.



Obr. 2.5 Kapesní ostrovní systém

2.2 Akumulace elektrické energie

Autonomní systémy, taktéž ostrovní systémy akumulace elektrické energie pracující do izolované energetické soustavy, jsou znatelně dražší, nežli systémy dodávající proud do sítě. Hlavním důvodem je cena akumulátoru, která u některých systémů tvoří 40% - 60% ceny ostrovních systémů.

Hybridní systémy pro společný provoz FVE a VTE v rámci jedné lokality se v podmínkách ČR takřka nevyskytují. Pozornost je proto zaměřena na akumulární systémy využitelné čistě ve spojení s elektrárnami fotovoltaickými, provozovanými jak paralelně se sítí („grid-on“ systém), kdy dodávají elektrickou energii do distribuční sítě, tak pracujícími v autonomním ostrovním režimu („grid-off“ systém). Při paralelním provozu s distribuční sítí dodává fotovoltaická elektrárna do sítě elektrickou energii přes střídač, který zároveň zajišťuje přifázování elektrárny k síti a její automatické odpojení v případě výpadku sítě. Akumulační členy se v tomto případě provozu fotovoltaického systému běžně nepoužívají.

2.2.1 Olovněné akumulátory

Nejčastěji se využívají olovněné akumulátory. Akumulátory používané ve fotovoltaických systémech se od akumulátorů startovacích liší tím, že jsou optimalizovány pro hluboké vybíjení (deep cycle) a mají nízké samovybíjení. Olovněné akumulátory se používají již velmi dlouhou dobu a jejich technologie je již dokonale zvládnutá. Elektrochemické akumulátory se nehodí příliš tam, kde se vyžadují velké nárazové proudy. Mezi fotovoltaikou a akumulátorem je zapojen regulátor nabíjení, jenž řídí průběh nabíjení a vybíjení akumulátoru a zajišťuje, aby nedošlo k jeho poškození. Klasické staniční baterie jsou složeny z jednotlivých 2V článků v průhledných nádobkách s volně nalitým elektrolytem. Jsou nejvhodnější z hlediska životnosti, mají zpravidla tlusté desky, a tudíž lépe snášejí hluboké vybíjení. Jejich nevýhodou je vyšší cena, větší hmotnost, potřebují také větší prostor a musí být zajištěno odvětrávání unikajících plynů H_2 a O_2 při nabíjení, jinak hrozí nebezpečí výbuchu. Údržba je nenáročná, nicméně nutná. Je potřeba kontrolovat a dolévat vodu a stav jednotlivých článků. Článek, jehož kapacita se snížila, může být při hlubokém vybíjení přepólován a časem může dojít ke zkratu. Při zkratu v jednom článku jsou ostatní přebíjeny, a to vede k rychlému zničení celé baterie. Na našem trhu se setkáme s typem FIAM OpzS s kapacitou od 200 do 3250 Ah. Kladné desky trubkového typu jsou ze slitiny Pb a malého množství Sb, záporné jsou pastového typu s mřížkou. Šestičláňkové 12V baterie se zpravidla používají pro menší systémy. Jejich výhodou je levná pořizovací cena.

[2]

2.2.2 Bezúdržbové akumulátory VRLA – Valve Regulated Lead Acid batteries

Tento typ akumulátoru má vestavěný speciální ventil, který je určen k regulaci pracovního tlaku uvnitř akumulátoru a současně se jedná o bezpečnostní přetlakový ventil (otevře se při tlaku 10 - 40 kPa dle typu akumulátoru). Konstrukce tohoto ventilu je taková, že není umožněn průnik vzduchu zvenčí do akumulátoru. Díky uzavřené konstrukci je vyloučen únik elektrolytu při naklonění, nebo převržení akumulátoru.

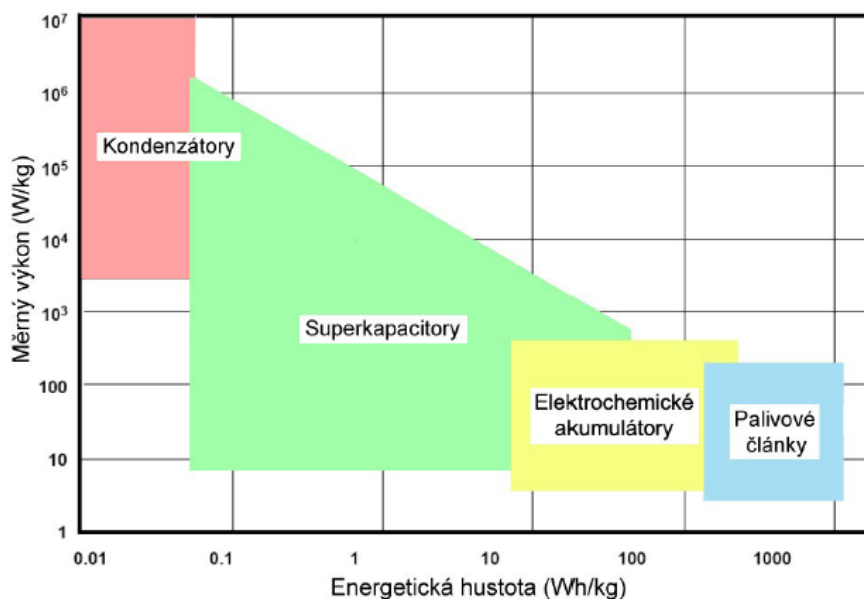
AGM akumulátory (Absorbed Glass Mat): Nejedná se o gelový akumulátor. Tyto akumulátory neobsahují tekutý elektrolyt, ten je však nasáklý do speciální skelné tkaniny. Mřížky akumulátoru jsou zde těsně u sebe, ale mezi nimi, je vždy vrstva skelné tkaniny do které je nasáklý elektrolyt. Výhodou AGM akumulátorů je schopnost dodat velký výkon při nízkých teplotách, vysoká odolnost vůči otřesům, lepší snášenlivost hlubokého vybíjení, velmi pomalé samovybíjení, vyšší kapacita při stejné hmotnosti (při porovnání s klasickými údržbovými akumulátory), a naprostá bezúdržbovost.

Gelové akumulátory: Vnitřní konstrukce akumulátoru, je v podstatě stejná, jako u normálního údržbového akumulátoru, jen se liší uskladnění elektrolytu, ten je v akumulátoru ve formě hustého gelu. Elektrolyt je zde tedy vázán v křemičité suspenzi. Obdobně jako u AGM akumulátoru, ani u gelového akumulátoru nehrozí únik elektrolytu z akumulátoru, při jeho naklonění, nebo převržení. Výhodou gelového akumulátoru je, na rozdíl od AGM typů menší citlivost na vyšší pracovní teploty. Výhody gelových akumulátorů oproti klasickým akumulátorům jsou obdobné jako u AGM akumulátorů. Mezi výhody patří vysoká odolnost vůči otřesům, lepší snášenlivost hlubokého vybíjení (ještě lepší, než u AGM), velmi pomalé samovybíjení, vyšší kapacita při stejné hmotnosti (při porovnání s údržbovými akumulátory), a naprostá bezúdržbovost. Gelové baterie mají lepší schopnost rekombinace plynů (přeměna vodíku a kyslíku, které se tvoří v akumulátoru, zpět na vodu).

2.2.3 Superkondenzátory

Superkondenzátor, též ultrakondenzátor je v principu elektrolytický kondenzátor, který má oproti klasickým kondenzátorům o několik řádů vyšší kapacitu a tím i větší hustotu energie. Dvěma hlavními parametry kondenzátorů jsou hustota energie a měrný výkon. Klasické kondenzátory dosahují poměrně vysokých měrných výkonů, ale mají poměrně nízkou hustotu energie v porovnání s elektrochemickými akumulátory. Ty mohou akumulovat více celkové energie, ale nezvládají ji uvolňovat dostatečně rychle, a proto mají menší měrný výkon. Superkondenzátory jsou založeny na stejném principu jako klasické kondenzátory. Kombinují však v sobě elektrody z mikroporézního aktivovaného uhlíku, jenž se vyznačuje extrémním povrchem až $2000 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, a zároveň mnohem tenčí dielektrikum, díky kterému se snižuje vzdálenost mezi elektrodami. Tyto rozdíly pak vedou k nárůstu jak kapacity, tak i akumulované energie. Superkondenzátory mají řadu výhod oproti elektrochemickým

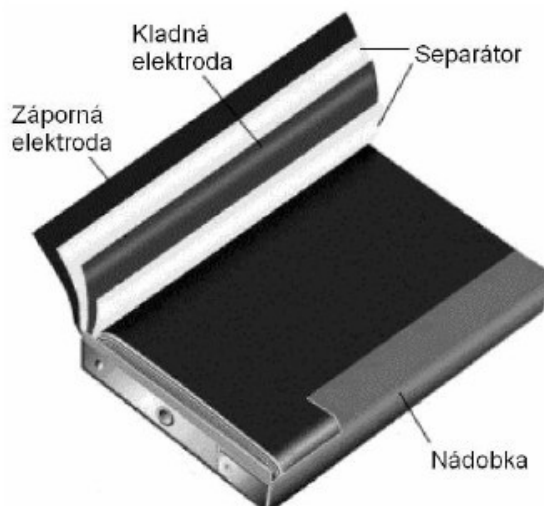
akumulátorům a palivovým článkům, zejména vyšší výkonovou hustotu, kratší nabíjecí čas a delší životní cyklus. Nevýhodou ve srovnání s nimi je malá energetická hustota. Srovnání superkondenzátorů s ostatními akumulacími systémy je vyobrazeno v Obr. 2.6. [2]



Obr. 2.6 Porovnání superkapacitorů s dalšími akumulacími systémy [2]

2.2.4 Lithium-iontové baterie

Lithium-iontové baterie zažívají v poslední době velký boom v zařízeních spotřební elektroniky. Pro solární použití jsou zatím neúměrně drahé, nicméně už se používají při závodech se solárními články poháněných vozidel. Zde je významná malá hmotnost, která dosahuje 20% hmotnosti běžné bezúdržbové baterie. Lithium poskytuje relativně vysoké napětí jednoho článku, přibližně 3V. Tyto baterie mají zanedbatelné samovybíjení a netrpí tzv. „paměťovým efektem“. Významnou nevýhodou je relativně krátká životnost a to 2 až 3 roky u běžných baterií. Baterie musí mít jištění proti přílišnému vybití, které je spolehlivě dokáže zničit.



Obr. 2.7 Konstrukce prizmatického Li-ion článku

2.2.5 Setrvačníky

V současné době se tato technologie využívá zejména v aplikacích vyžadujících rychlou dodávku velkého výkonu, která by při odběru z distribuční sítě způsobila velké rušení vlivem náhlého poklesu proudu. Klasické setrvačníky pro akumulaci energie jsou nejčastěji kovové s mechanickými ložisky a otáčkami okolo $4000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$. Při použití materiálů, které jsou pevné a zároveň lehké, spolu s magnetickými ložisky a vakuem, které slouží k omezení odporu vzduchu, je možné dosáhnout až $100\,000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$. Akumulační schopnosti moderních setrvačnicků jsou srovnatelné s elektrochemickými akumulátory, avšak setrvačníky je možné mnohem rychleji nabít i vybit. Účinnost setrvačnicků se pohybuje kolem 80 %. V současnosti se vyrábějí setrvačníky s výkonem od několika kW až do cca 1 MW. Jejich předností je možnost paralelního chodu více jednotek. Hlavní nevýhodou setrvačnicků je bezpečnost jejich provozu, s čímž je zároveň spojená i vyšší cena, přibližně dvojnásobná oproti bateriím. Systémy na bázi setrvačnicků nebo superkondenzátorů jsou vhodné tam, kde je nutné pokrýt velkou spotřebu po krátkou dobu. I když hlavní oblastí jejich použití je doprava, kde umožňují dodat energii pro akceleraci a naopak akumulují energii při brzdění (rekuperace), mohou nalézt uplatnění rovněž ve spojení s OZE při vyrovnávání kolísání jejich výkonu. Mohou zde být vhodným doplněním jiného (hlavního) systému akumulace energie.

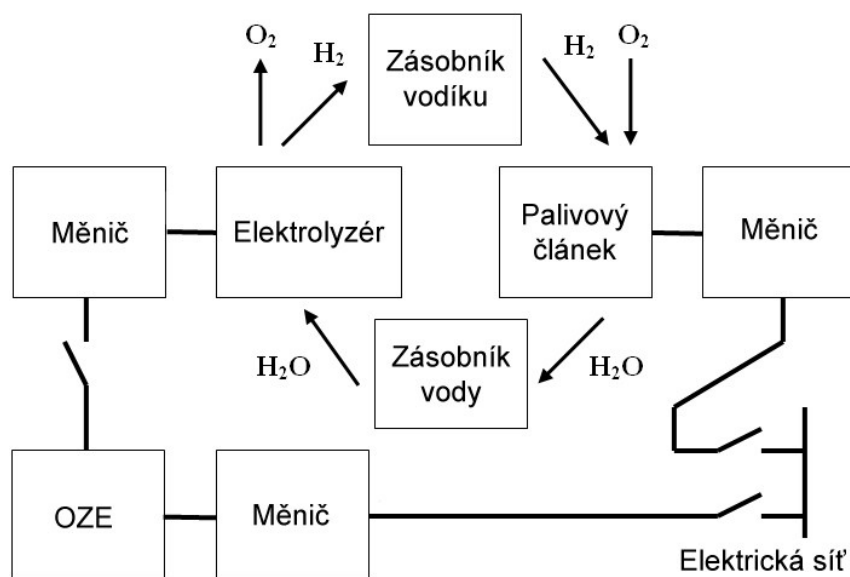
2.2.6 Lithium-polymerové baterie

Lithium-polymerové akumulátory umožňují dosáhnout ještě větší energetické hustoty v článku než Li-Ion a mají lepší vlastnosti, zejména vnitřní odpor a větší poměr kapacita/váha. Lithium-polymerové články jsou schopné dávat proudy desítek ampér. Základní parametry jsou stejné jako u Li-Ion,

nominální napětí článku je 3,7 V. Tyto články však rychleji degradují a umožňují menší počet nabíjecích cyklů a jejich výrobní cena je vyšší. Nevýhodou těchto baterií je nutnost používání elektronické ochrany jednotlivých článků při nabíjení a vybíjení. Při jejich nabíjení a vybíjení nesmí být překročeny výrobcem stanovené hodnoty, v opačném případě dojde k poškození článků, k takzvanému nafouknutí. Toto poškození je ve většině případů nevratné a proto je při nabíjení Li-Pol akumulátorů třeba používat pouze nabíječky, které jsou pro tyto články určené. Jednou z nevýhod těchto akumulátorů je jejich křehkost a "zranitelnost". Obal článku je tvořen kovovou fólií, která je minimálně mechanicky odolná, díky tomu nemusí být použit pojistný ventil jako u Ni-cd článků, ale při jejím poškození hrozí nebezpečí požáru a otravy expandujícími plyny které jsou navíc silně hořlavé. Baterie obsahuje pevný polymer jako elektrolyt, anoda je z kovu lithia a katoda je z kompozitu kysličníku vanadia. Tyto vrstvy se skládají na sebe, a buďto se rolují, nebo se vrství kladením na sebe. Tak lze dosáhnout téměř libovolných tvarů. Na stejnou kapacitu baterie Li-Pol lze vystačit s třetinovou váhou, než u Li-Ion baterií.

2.2.7 Ukládání ve formě vodíku

Tento systém se skládá z elektrolyzéru, zásobníku vodíku a palivového článku. Takovýto systém má výhodu v tom, že jeho kapacita je dána jen velikostí vodíkové nádrže (plynojemu) a nemá energetické ztráty samovybíjením, tzn. lze uložit energii z léta na zimu. V zásadě lze použít pro velké instalace pro celé sektory vesnic. Množství vyráběného vodíku závisí na proudové hustotě. Současné elektrolyzéry mají energetickou účinnost dosahující až 80 %. Přes nízkou objemovou energetickou hustotu, má vodík nejvyšší poměr energie k hmotnosti ze všech paliv, který může být skladován jako plyn při vysokých tlacích, jako kapalina v kryogenních zásobnících, nebo jako plyn chemicky vázaný v metalhydridech. Nejjednodušším typem palivového článku je článek vodíkový, jehož funkce je inverzní k funkci elektrolyzéru. Vodík je přiváděn k anodě, kde dochází k oxidaci a uvolňování elektronů, jenž prochází vnějším elektrickým obvodem ke katodě za současného vzniku iontů OH⁻ v elektrolytu. Ke katodě je přiváděno okysličovadlo (kyslík), kde s ionty OH⁻ reaguje za vzniku vody. Energetická účinnost palivového článku je až 50 %. Výkon obou popsaných zařízení vodíkového systému přímo souvisí s plochou jejich elektrod.



Obr. 2.8 Schéma vodíkového akumulčního systému [6]

2.3 Energie ze Slunce

Hlavním zdrojem energie ve Slunci je jaderná fúze, tj. spojování jader vodíku za vzniku helia a poté dalších těžších prvků. Ve Slunci se každou sekundu přemění 600 milionů tun vodíku na helium. Hmotnost vzniklého helia je o něco menší než hmotnost do reakce vstupujícího vodíku. Rozdíl této hmotnosti se dle známého Einsteinova vztahu: $E = m \cdot c^2$ dá přepočítat na energii. Ve Slunci vlastně každou sekundu ubudou 4,26 milionu tun hmoty, což představuje uvolnění $3,8 \cdot 10^{26}$ J energie. Slunce se nachází ve stabilním stádiu svého vývoje a takto setrvá přibližně 5 miliard let. Z hlediska délky lidského života a lidské civilizace jde opravdu o zdroj „udržitelný“. Na konci této stabilní fáze se poloměr Slunce přibližně 1,4 krát zvětší a jeho výkon téměř zdvojnásobí. Po vyčerpání veškerých zásob vodíku v centru Slunce se zapálí vodík v tenké vrstvičce obalující vyhořelé jádro. Jeho vnitřní část se smrští, vnější část expanduje a Slunce se stane „červeným obrem“, jenž pohltí většinu planet sluneční soustavy. V heliovém jádru začne probíhat fúze jader helia za vzniku uhlíku a kyslíku a řídký obal obklopující toto žhavé jádro bude odsunut tlakem záření do prostoru. Nakonec zůstane jen uhlíko - kyslíkové jádro o 60 % hmotnosti současného Slunce, obalené tenkou vodíkovou atmosférou. Tento žhavý zbytek hvězdy začne chladnout, postupně se stane „bílým trpaslíkem“ a nakonec vychladne úplně a skončí jako „černý trpaslík“. Teplota slunečního povrchu se pohybuje okolo 5 900 K. Ze Slunce je energie přinášena na Zemi ve formě elektromagnetického záření. [3]

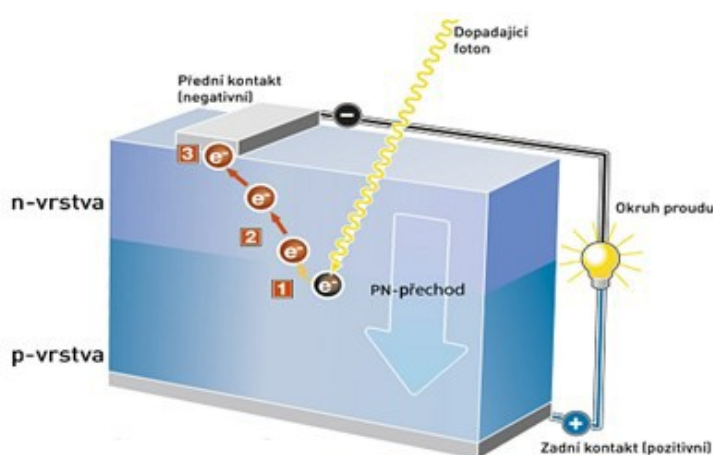
2.3.1 Princip fotovoltaických jevů

K tomu, abychom byli schopni převést proud fotonů (slunečního záření) v energii pohybujících se elektronů (elektrického proudu) jsou zapotřebí pouze dvě věci:

- volné elektrony,
- elektrický potenciál (pole), který je uveden do pohybu směrem ze zdroje do spotřebiče.

Volné elektrony, které jsou k dispozici v každém běžném kovu, nepředstavují žádný problém. Největší problém je, jak jim dodat potřebnou energii a usměrnit jejich tok potřebným směrem. Foton slunečního záření je schopen předat svou energii elektronu v kovu nebo polovodiči, samotný přenos energie ze slunečního záření na elektron je možný. Již od 19. století je známo, že dochází k uvolnění elektronů z povrchu, pokud na kov dopadá sluneční záření. Elektron vylétne z povrchu kovu a zanechá kladný náboj, pouze v případě je-li energie záření dostatečná. Tomu se říká fotoelektrický jev. Pokud elektron zůstane v kovu, je velmi rychle vtažen do nějaké díry a jeho energie se přemění v teplo. Proto je nutné od sebe oddělit elektrony od děr. Přimět elektrony rychleji než zapadnou zpět do díry, aby prošly elektrickým obvodem a vydaly přijatou sluneční energii ve formě užitečné práce v našem spotřebiči. Pro tento proces jsou lépe použitelné polovodiče než kovy. Polovodiče jsou materiály, jejichž elektrické vlastnosti leží mezi vodiči a izolanty. Polovodiče neobsahují volné elektrony jako kovech, ale relativně jednoduše zde mohou vzniknout. Například zahřátím nebo dopadem slunečního záření. K takovému oddělení elektronů z děr je potřeba vytvořit v polovodiči P-N přechod, který je základem celé naší moderní elektroniky. Podstatu vzniku lze vysvětlit na nejčastěji používaném materiálu. Atom křemíku má ve valenční sféře čtyři elektrony a potřebuje získat další čtyři, aby dosáhl stabilního uspořádání valenční sféry. V krystalu křemíku každý atom zaujímá takové uspořádání, aby sdílel čtyři elektrony se sousedními atomy a proto vytvoří čtyři vazby se sousedními atomy. V tuhém křemíku na rozdíl od kovu se žádné volné, k atomům nevázané elektrony, nevyskytují. Toto ovšem platí jen při velmi nízkých teplotách. Při pokojové teplotě dochází k přerušení některých vazeb a uvolnění malého množství elektronů. Protože vazby v křemíku nejsou tak pevné jako v uhlíku. K uvolnění elektronů stačí dodat malé množství energie. Malé množství elektronů má dostatečné množství energie, aby se uvolnilo a dostalo do neobsazeného pásu i při pokojové teplotě. Křemík proto vede elektrický proud. Aby bylo možno křemík použít ve FVČ musí se vylepšit přidáním malého množství jiných prvků. Křemík obohacený fosforem má elektrickou vodivost výrazně větší než křemík čistý a nazýváme ho křemík typu n. Naopak, pokud přidáme bor, nazýváme ho křemík typu p, který má nadbytek děr. Spojením obou typů polovodičů, vzniká p-n přechod, který umožňuje pohyb elektronů jen z N do P.

Základem FVČ je velkoplošný P-N přechod orientovaný kolmo na plochu článku. Pokud na něj dopadne dostatečně velké množství slunečního záření, dojde k uvolnění elektronů a vzniku stejného množství děr. Elektrické pole P-N přechodu přetahuje elektrony z polovodiče typu N do polovodiče typu P. Proud elektronů, který takto vznikne, může být vyveden pomocí vhodných kontaktů umístěných na obou stranách P-N přechodu z FVČ, aby foton uvolnil elektron, musí jeho energie být větší než šířka tzv. zakázaného pásu. Křemík, který má šířku zakázaného pásu přibližně 1,1 eV, musí být vlnová délka záření kratší než 1000 nm. Do této oblasti spadá celá oblast viditelného slunečního záření a část infračerveného. Při přeměně FVČ se využije jen ta část energie fotonu, která se rovná šířce zakázaného pásu. Zbývající energie se promění na kinetickou energii uvolněného elektronu a na teplo. Každý foton uvolní tímto způsobem jeden elektron. Princip fotovoltaického článku je znázorněn v Obr. 2.13. [3]



Obr. 2.9 Princip fotovoltaického článku [8]

Velikost proudu závisí na intenzitě slunečního záření, tedy na počtu fotonů, které na FVČ za jednotku času dopadnou.

Napětí na FVČ závisí na intenzitě elektromagnetického pole, které přesouvá elektrony, a ta je závislá na materiálu polovodiče (šířce zakázaného pásu). Při optimálním proudu, kdy je výkon článku maximální se toto napětí pohybuje kolem 0,5 V. Proto se musí články spojovat do série, aby se získalo využitelné napětí. A to pro napětí 18 V musí být v sérii 36 článků a pro 36 V musí být 72 článků. Sluneční záření, které prochází atmosférou, obsahuje fotony s energií od 0,5 eV (infračervené) do 2,9 eV (ultrafialové). Energie fotonů, kdy jejich vlnová délka je kratší má větší energii. Tato energie není využita bezzbytku. Každý foton uvolní jen jeden elektron, zbytek se přemění na teplo. Díky tomu je účinnost reálného FVČ jen 10 % až 20 %. [3]

2.3.2 Rozdělení a popis fotovoltaických článků

FVČ mají za sebou již 50 let používání. Za tu dobu byla vyvinuta celá řada typů a konstrukcí s využitím různých materiálů. Rozlišují se základní čtyři generace pro lepší přehlednost:

První generace

Tyto typy FVČ byly vyráběny z monokrystalických destiček křemíku. V nichž je vytvořen velkoplošný P-N přechod. Jsou doposud jedny z nejpoužívanějších technologií, na trhu se nejčastěji používají pro velké aplikace. Vyznačují se dobrou účinností a dlouhodobou stabilitou výkonu. Jejich účinnost dosahuje až 25 %. Jejich hlavní nevýhoda je relativně velká spotřeba velmi čistého křemíku. Komerčně se tento typ začal prodávat v sedmdesátých letech minulého století.

Druhá generace

Hlavním impulsem pro výrobu druhé generace baly snaha snížit výrobní náklady. Destičky monokrystalického křemíku byly nahrazeny tenkovrstvými články. Tyto články se vyznačují 100 krát až 1000 krát tenčí absorpční polovodičovou vrstvou. Nejčastější jsou polykrystalické, mikrokrytalické články nebo články z amorfního křemíku. Při výrobě došlo k úspoře materiálu a to vedlo k poklesu ceny. Hlavní nevýhodou je malá účinnost, která se pohybuje při sériové výrobě pod 10 %. Hlavní výhodou tenkovrstvých článků je jejich pružnost a ohebnost. Dají se už použít i FV fólie, které se nalepí na plochu střechu. Tyto fólie plní funkci nepropustné fólie a současně vyrábí elektrickou energii. Dají se taky použít jako součást oblečení a umožňují napájet přenosná zařízení. Komerčně se začaly prodávat v polovině osmdesátých let.

Třetí generace

Do třetí generace se řadí systémy, které používají k separaci nábojů jiné metody než p-n přechod a často i jiné materiály, než polovodiče. Jsou to např. fotogalvanické nebo polymerní články. Začínají se také uplatňovat nanostruktury ve formě uhlíkových nanotrubiček či nanotyčinek. Výhodou těchto struktur je možnost cíleně ovlivňovat (vyladit) optické a elektrické vlastnosti. Nevýhodou je zatím nízká účinnost a často malá stabilita vlastností a účinnost.

Čtvrtá generace

Čtvrtou generaci tvoří kompozitní, z jednotlivých vrstev složené FVČ, které jsou schopnější efektivně využívat širokou část slunečního spektra. Je to dáno tím, že každá vrstva dokáže využít světlo v určitém rozsahu vlnových délek a to záření, které využít nemůže, propustí do hlubších vrstev, kde je využito. Důvodem je snaha o maximalizaci počtu absorbovaných fotonů a následně generovaných párů elektron - díra („proudový“ zisk), ale i maximalizace využití energie dopadajících

fotonů („napětový“ zisk fotovoltaických článků). Existuje řada směrů, kterým je ve výzkumu věnována pozornost:

- vícevrstvé solární články (z tenkých vrstev),
- články s vícenásobnými pásy,
- články, které by využívaly „horké“ nosiče náboje pro generaci více párů elektronů a děr,
- termofotovoltaická přeměna, kde absorbér je současně i radiátorem vyzařujícím selektivně na jedné energii,
- termofotonická přeměna, kde absorbér je nahrazen elektroluminiscencí,
- články využívají kvantových jevů v kvantových tečkách nebo kvantových jamách,
- prostorově strukturované články vznikající samo organizací při růstu aktivní vrstvy,
- organické články.

[3]

Konstrukce fotočlánků

Kvalita, odolnost a životnost různých typů solárních panelů od různých výrobců je různá, proto je doporučeno řídit se parametry udávané výrobcem. Fotovoltaické panely jsou vybaveny ochranným hliníkovým rámem a tvrzeným solárním sklem, které je schopné ochránit panel i při "útoku" kroupami do velikosti 2,5cm. Mezi tvrzeným sklem a vlastními křemíkovými fotočlánky leží EVA. EVA je zkratka pro etylen-vinyl-acetát, jedná se o speciální materiál, který vyvinula firma Specialized Technology Resources, Inc. a který slouží k tomu, aby oddělila sklo od fotočlánků a zajistila tak jejich bezpečnost proti mechanickému poškození. Aplikace vrstvy EVA je poměrně komplikovaná, vrstva se nanáší ve vakuu a při vysokých teplotách. Zjednodušeně řečeno je EVA speciální vysoce světlopropustný gel.

Z hlediska odolnosti je důležitým parametrem také životnost panelů, a to nejen životnost mechanická, ale také životnost z hlediska výkonu fotovoltaického panelu. Fotovoltaické panely mají garantovanou životnost 25let, s minimální ztrátou výkonu v průběhu garantované životnosti.

Optimální sklon panelů

Optimální sklon panelů se pohybuje okolo 35° - 49° . V letním období je slunce výše nad úrovní horizontu, než v zimě, to znamená, že v období od cca března do cca října bude vhodné zvolit sklon od vodorovné osy kolem 35° . Pokud budou panely používány celoročně, nebo pouze v zimě, pak je vhodné panely zvednout na vyšší úhel natočení, konkrétně na 49° , aby bylo možno ve špatných zimních podmínkách ze systému získat co nejvíce elektrické energie. Naklopení panelů na vyšší úhel než 49° , nebo naopak nižší, než 35° je již kontraproduktivní nejen pro léto, ale i pro zimní období.

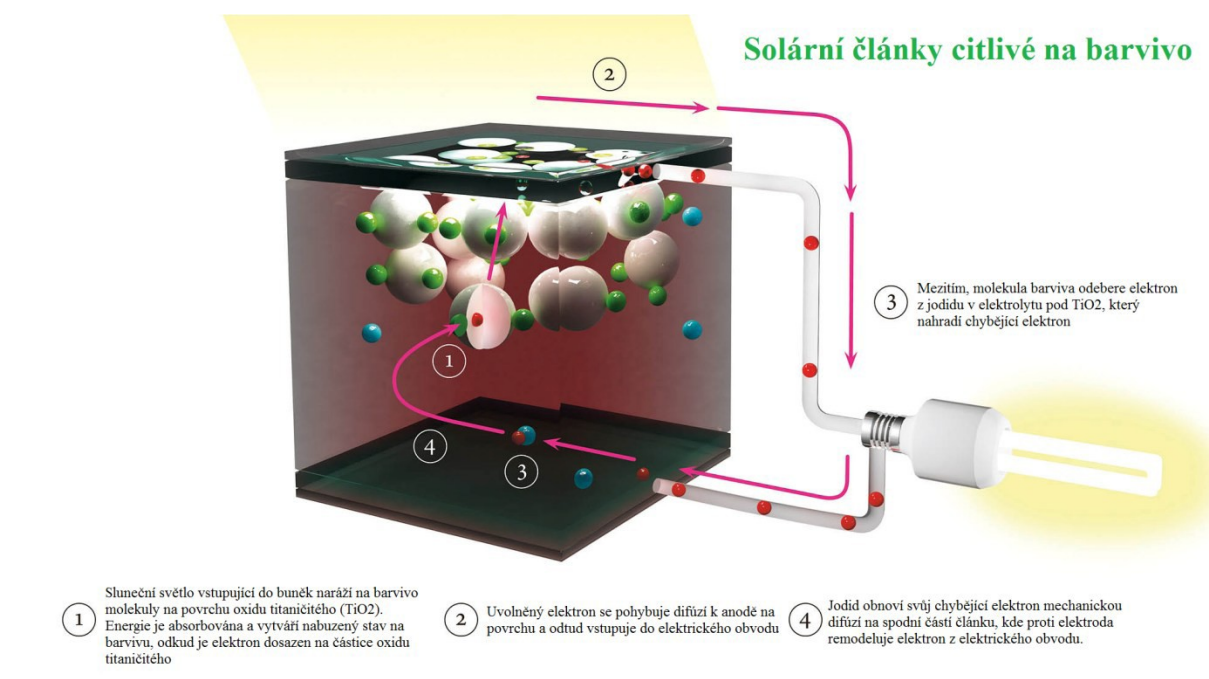
K dispozici jsou i tzv. sledovací zařízení, které panely natáčejí za sluncem a to buď pouze horizontálně nebo i ve dvou osách. Velmi optimistické tvrzení výrobců o zvýšení výroby elektrické energie až o 35% nelze brát příliš vážně. Musíme brát v potaz také tu skutečnost, že tyto zařízení jsou spotřebiči elektrické energie, kterou spotřebovávají ze systému. Navíc se jedná o pohyblivé mechanické prvky, které mají určitou životnost, potřebují určitou údržbu, jsou zdrojem potenciálních poruch a stojí nemalé částky.

2.3.3 Nové koncepty fotovoltaických článků

V současnosti je rozpracovávána celá řada konceptů, které slibují do budoucna výrazné zvýšení účinnosti. Většina z nich je pouze ve fázi teoretického odhadu dosažitelné účinnosti, není však známo, jak je realizovat v praxi. Níže jsou uvedeny jen některé z těch, u nichž již byly realizovány první experimenty:

- speciální nanostruktury, tzv. supermřížky, umožňující řídit šířku zakázaného pásu (quantum dot, quantum well), cílem výzkumu je vytvořit takové struktury z levných a dostupných materiálů, například křemíku
- luminofory, které konvertují široké sluneční spektrum do užší oblasti, která lépe odpovídá šířce zakázaného pásu použitého fotovoltaického článku (up/down converters)
- termo-fotovoltaické články, selektivní absorbér ohříváný slunečním zářením vyzařuje dlouhovlnné záření v úzkém pásmu, které odpovídá šířce zakázaného pásu použitého fotovoltaického článku.

[10]



Obr. 2.10 Grätzelův článek [9]

Na Obr. 2.12 je znázorněn Grätzelův článek (nebo také barvivem senzitivovaný článek). Je založen na zachycení světla na barvivem fotosenzitivované polovodivé anodě s následnou regenerací barviva elektrolytem. Tento článek byl vynalezen Michaelem Grätzelem a Brianem O'Reganem v roce 1991. Tento článek je technologicky atraktivní, neboť je tvořen z relativně levných materiálů a levným výrobním procesem. Jeho výroba je mnohem levnější než výroba starších metod založených na vysoce čistém křemíku, jehož výroba je energeticky náročná. Může být upraven do flexibilních listů a je mechanicky poměrně robustní, takže nepotřebuje další ochranu proti poškození například padáním větví a krup.

Přestože jeho konverzní účinnost je menší než u nejlepších křemíkových článků, jeho poměr cena/výkon by měla být dostatečná, aby se více rozšířil. Komerční aplikace, které byly zpočátku zpomaleny problémy s chemickou stabilitou článků, se nicméně stále častěji objevují. [9]

2.3.4 Fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaické panely souží pro přeměnu „světla“ na elektrickou energii. Světlo resp. fotony naráží do povrchu polovodiče (solární článek) a svojí energií „vyrazí“ elektrony z krystalické mřížky polovodiče. Díky využití polovodičového PN přechodu dochází k akumulaci elektronů v polovodiči s vodivostí typu N a tím ke vzniku napětí mezi vrstvami P a N. Jedná se samozřejmě o stejnosměrné napětí.

Fotovoltaické (solární) panely běžně využívané pro fotovoltaické elektrárny mají nominální napětí 12V nebo 24V. Na trhu jsou ale i panely s výstupním napětím 48V. Výkon panelů se udává v jednotkách Watt peak (Wp). Wp je jednotkou maximálního výkonu fotovoltaického panelu nebo systému fotovoltaických panelů za ideálních podmínek. V podstatě se jedná o nejvyšší výkon dodávaný solárním panelem nebo systémem solárních panelů za běžného bezoblačného letního dne.

Polykrystalický panel

Velmi účinné při využití difuzního záření (sluneční záření přes zataženou oblohu). Mohou mít částečný odklon od přesného jihu, nejsou extra kritické pro přesné nastavení nebo dostavování v jiných ročních obdobích jako monokrystaly. V současnosti dosahuje tato technologie nejlepšího poměru výkon / cena a je nejpoužívanější v podmínkách České republiky. Polykrystalický panel je zobrazen na Obr. 2.9.



Obr. 2.11 Polykrystalický panel

Monokrystalický panel

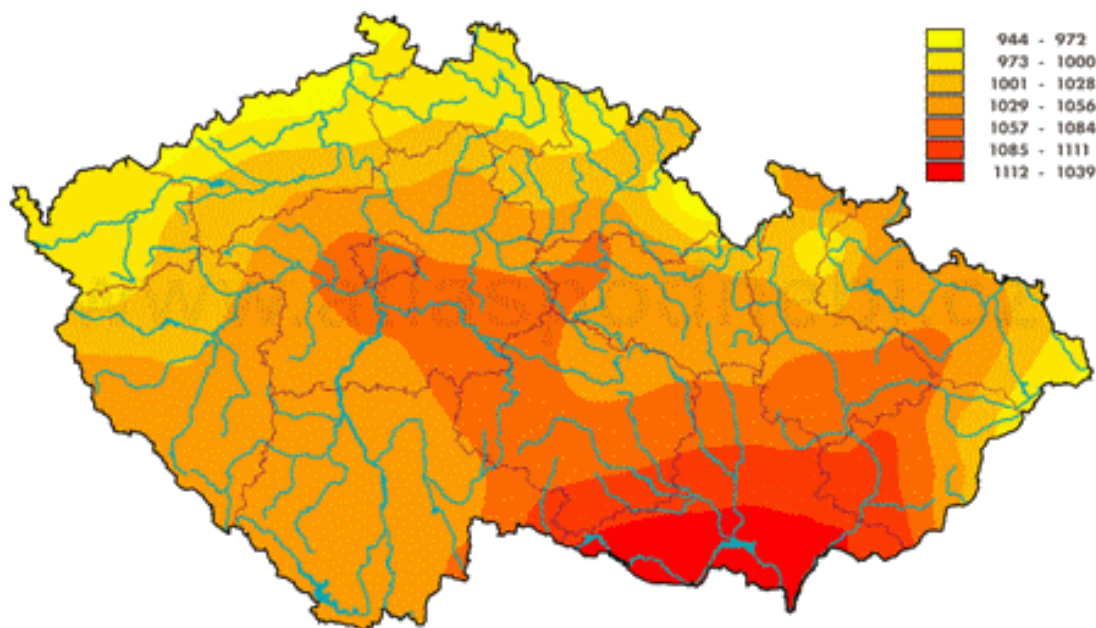
Dosahuje nejvyšší účinnosti. Svým charakterem je vhodný pro osvětlení slunečními paprsky v přímém směru, proto se používá především pro natáčecí systémy. Jejich použití je v podmínkách České republiky ve vazbě na nevýhodný poměr výkon / cena diskutabilní. Na Obr. 2.10 je zobrazen monokrystalický panel.



Obr. 2.12 Monokrystalický panel

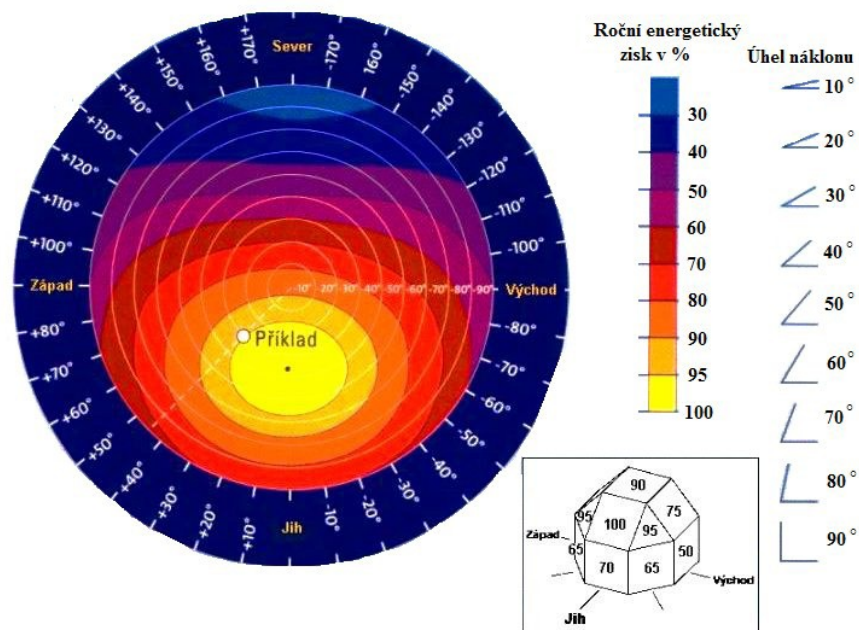
2.3.5 Situace v České republice

Obr. 2.11 znázorňuje mapu ročního průměrného úhrnu slunečního záření ($\text{kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^2$). Z této mapy je patrné, že nejnižší intenzita slunečního záření v České republice je na jejím severu až severozápadě, kdežto nejvyšší a tudíž i nejlepší podmínky pro výstavbu fotovoltaických elektráren jsou na jižní Moravě.



Obr. 2.13 Množství dopadající energie na m^2

Obr. 2.12 zobrazuje mapu využitelnosti slunečního záření na náklonu panelů ve stupních a na orientaci panelů na světové straně.



Obr. 2.14 Vliv sklonu a orientace FV modulů [7]

2.4 Větrné elektrárny

2.4.1 Historie vývoje větrných elektráren

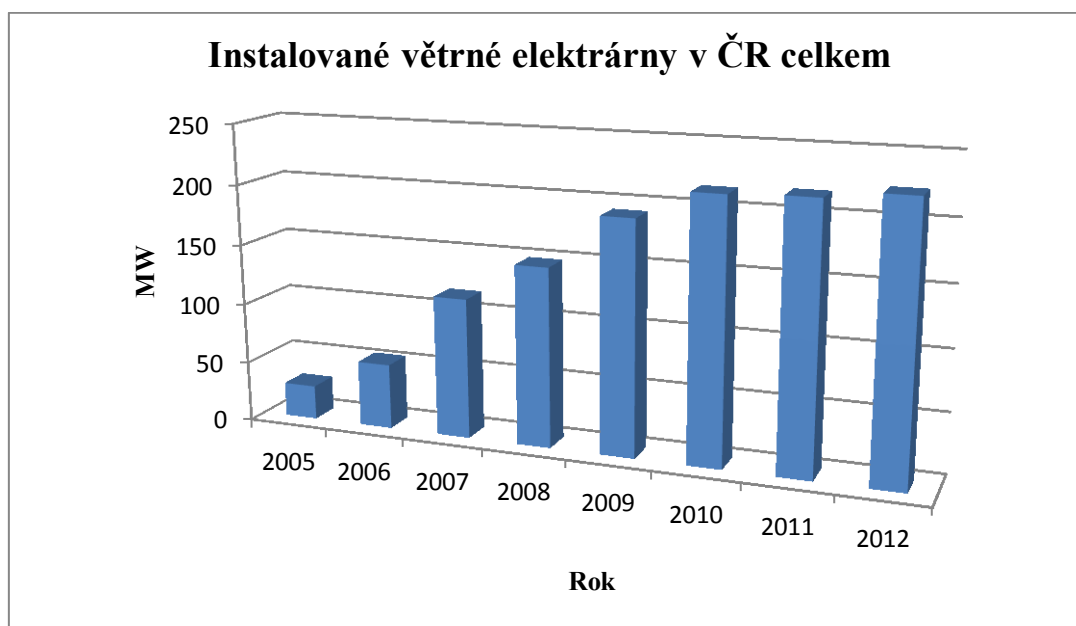
Na území ČR se větrná energie využívala po dlouho dobu pouze k pohonu větrných mlýnů, první doložený mlýn byl postaven v zahradě Strahovského kláštera v roce 1277. Rozkvět větrného mlynářství je zaznamenán ve 40. až 70. letech 19. století. Počátkem 20. století se využívalo větrných turbin k pohonu vodních čerpadel.

Počátek zájmu o využívání větrné energie pro výrobu elektřiny u nás tak jako v celé Evropě se datuje 70. léty minulého století v důsledku ropné krize.

Výroba větrných elektráren u nás začala koncem 80. a začátkem 90. let minulého století. Tyto elektrárny však prošly trnitou cestu odstraňování řady technických závad. V důsledku tohoto některé VTE nebyly vůbec uvedeny do provozu a nebo byly demontovány.

Po roce 1990 se větrná energetika začala rozvíjet bez odborného zázemí, bez určení větrného potenciálu konkrétní lokality, bez znalosti správného umístění turbíny v terénu, hlukových emisí, klimatických vlivů na elektrárnu a bez znalostí z oblasti silnoproudu a automatického řízení. Tuto etapu lze označit jako poškozující rozvoj větrné energetiky u nás.

V letech 1993 až 1995 vstoupili na trh velcí výrobci a dodavatelé větrných elektráren ze zahraničí a zároveň i některé typy VTE tuzemských výrobců již se podaří udržet v provozu na potřebné úrovni. Tím byla zahájena nová etapa rozvoje větrné energetiky v ČR byla zahájena příprava výstavby větrných elektráren o jednotkových výkonech větrných soustrojí ve výši 600 až 2 000 kW. Také se připravuje i výstavba větrných parků o celkovém elektrickém výkonu několika desítek MW. Instalovaný výkon větrných elektráren u nás ke konci roku 2011 dosáhl 217 MW. [5]



Graf 2.1 Vývoj větrných elektráren v ČR v letech 2005 – 2012

2.4.2 Větrná energie

Zemský větrný systém je zapříčiněn pohybem jednotlivých hmot atmosférického vzduchu. Tento pohyb vzniká důsledkem změny atmosférického tlaku, který je výsledkem rozdílů solárního ohřevu různých částí povrchu Země.

Na jeden metr čtvereční zemského povrchu, který se nachází v blízkosti rovníku, dopadá více slunečního záření za rok než na jeden čtvereční metr ve vyšších zeměpisných šířkách. Tento jev je způsoben zakřivením Země, což znamená, že sluneční paprsky s rostoucí zeměpisnou šířkou dopadají na zemský povrch pod jiným úhlem. Se zvyšující se zeměpisnou šířkou musí sluneční paprsky urazit větší vzdálenost, proto je více sluneční energie absorbováno na cestě před tím než dosáhne povrchu. V důsledku těchto účinků jsou v tropech podstatně vyšší teploty než v regionech jiných zeměpisných šířek.

Česká republika je vnitrozemský stát s typicky kontinentálním klimatem, jenž se projevuje významným sezónním kolísáním rychlostí větru. Příčinou tohoto kolísání je zejména globální vzdušné proudění typické pro severní a střední Evropu.

Rychlost větru je nejdůležitějším údajem při využívání energie větru, udává se převážně v m/s. Poblíž zemského povrchu je proudění vzduchu ovlivňováno drsností povrchu, ale s rostoucí výškou se rychlost větru logaritmicky zvyšuje. Je tedy velký rozdíl mezi rychlostí větru ve výšce 10 m a 100 m nad terénem. Vítr je nad terénem různě zpomalován, zejména terénními překážkami - stavbami, kopci, dále také druhem povrchu (tráva, les, vodní hladina, sníh...).

Údaje o průměrné rychlosti větru pro danou lokalitu lze získat z větrné mapy, která byla vytvořena Ústavem fyziky atmosféry Akademie věd ČR interpolací údajů meteorologických stanic a z numerického modelu proudění nad naším územím. Pro střední a velké VTE je nezbytné měřit sílu větru v daném místě alespoň půl roku. Síla větru se měří registračním anemometrem ve výšce 10 m nad povrchem země. Jestliže je zapotřebí znát rychlost větru ve výšce 100 m lze použít vztah:

$$\frac{V_h}{V_o} = \left(\frac{h}{h_o} \right)^n, \quad (2.2)$$

kde znamená:

V_o - naměřená rychlost větru ve výšce h_o [m/s],

V_h - vypočtená rychlost větru [m/s],

h_o - výška, ve které se měření provádí [m],

h - výška umístění rotoru [m],

n - exponent závisící na drsnosti povrchu. [3]

2.4.3 Rozdělení větrných elektráren

U rozdělení podle Endera jsou větrné elektrárny děleny do tří kategorií. A každá kategorie má tři kritéria, podle kterých se posuzuje velikost větrné elektrárny. Rozdělení větrných elektráren je zobrazeno v Tab.2.1.

Větrné elektrárny								
Malé			Střední			Velké		
Větrný motor		Výkon do (kW)	Větrný motor		Výkon do (kW)	Větrný motor		Výkon do (kW)
Průměr (m)	Plocha (m ²)		Průměr (m)	Plocha (m ²)		Průměr (m)	Plocha (m ²)	
< 8	< 50	10	16,1-22	200,1-400	130	45,1-64	1600,1-3200	1500
8,1-11	50,1-100	25	22,1-32	400,1-800	310	64,1-90	3200,1-6400	3100
11,1-16	100,1-200	60	32,1-45	800,1-1600	750	90,1-128	6400,1-12800	6400

Tab. 2.1 Rozdělení větrných elektráren

2.4.4 Princip větrné elektrárny

Principem VTE je její schopnost přeměnit kinetickou energii větru na energii elektrickou prostřednictvím rotoru a generátoru. Větrná elektrárna se skládá z rotoru, gondoly neboli strojovny, stožáru a základny.

Rotor

Vítr fouká na lopatky rotoru VTE a obtéká je. Lopatky mají aerodynamický profil, podobný tomu, který se používá na křídlech letadel. Jestliže je takovýto profil obtékán vzduchem, vzniká vztlačková síla obdobně, jako na křídle letadla i na lopatce rotoru VTE. Tato vztlačková síla dokáže udržet letadlo ve vzduchu a u VTE roztočí rotor. Rychlost proudění větru ale v čase neustále kolísá. Abychom dokázali využít vítr o malé i velké rychlosti, jsou lopatky rotoru větrné elektrárny natáčeny kolem jejich podélné osy, přičemž jejich poloha se může upravovat i během každé otáčky rotoru. Díky tomu jsou lopatky stále optimálně ofukovány a VTE dokáže využít maximum energie větru. Při extrémní rychlosti větru je z důvodu její životnosti a bezpečnosti větrná elektrárna odstavena z provozu. Děje se to tak, že se její rotorové lopatky natočí tzv. do praporu, tedy nastaví se do takové polohy, že kladou větru minimální odpor a vítr tedy není schopen roztočit rotor elektrárny.

Rotorová lopatka je vyrobena ze sklolaminátu. Laminováním do negativních forem jsou vyrobeny horní a spodní polovina listu, zvlášť se laminuje hlavní nosník, který přenáší většinu zařízení a dává listu pevnost. Tyto tři díly jsou pak k sobě slepeny. Do listů jsou také zabudovávány bleskosvodné pásy a provozní senzory, případně vytápění, které zabraňuje tvorbě námrazy na listech nebo umožňuje její rychlejší a bezpečné odstranění. Účelem rotoru větrné elektrárny je přeměna přímočarého proudění větru na otáčivý pohyb. Soustrojí v gondole pak dokáže tento pohyb přeměnit na elektrickou energii.

Strojovna

Čím větší je průměr rotoru, tím nižší je počet jeho otáček za minutu (rotor o průměru 90 m má pracovní otáčky 15 ot/min). Elektrické generátory mají ale podle typu pracovní otáčky 1 000, 1 500 či 3 000 ot/min. Mezi rotorem a generátorem tedy musí být umístěna převodovka. Ta je vždy několikastupňová, s převodovým poměrem v rozmezí 1:80 – 1:150. Mezi převodovkou a generátorem bývá umístěna třecí kotoučová brzda, která dokáže v případě potřeby během několika sekund zastavit otáčení rotoru. Generátor může být dle typu soustrojí asynchronní, synchronní či velice specifický mnohápólový spínaný generátor, který převodovku nepotřebuje, neboť jeho pracovní otáčky jsou stejné, jako otáčky rotoru VTE. Ve větrné elektrárně se odehrávají tři základní kinematické děje:

- rotorové listy se natáčí kolem podélné osy podle síly větru,
- rotor se otáčí a roztáčí tak celé soustrojí,
- strojovna i s rotorem se natáčí do azimutu větru tak, aby rotor byl stále kolmo vůči směru větru.

Celé soustrojí je umístěno na mohutném ocelovém rámu. Některé systémy strojovny, jako je brzda či natáčení listů, jsou hydraulické, a proto je ve strojovně umaštěno i hydraulické hospodářství s čerpadlem a rozvody.

Stožár

Moderní VTE, které se budují ve Evropě, mají většinou ocelový stožár mírně kónického válcového tvaru, který je sestaven ze 3 – 5 segmentů. Výška stožáru se pohybuje v rozmezí 80 – 120 metrů, běžná výška je dnes nad 100 metrů. Hmotnost stožáru se pohybuje od 150 do 225 t.

V patě stožáru se nachází další řídicí vybavení elektrárny.

Základ

Charakteristika betonového základu:

- půdorys může být čtvercový s rozměry 16x16 m a výškou 1,8 – 2,0 metry, nebo také kruhový či mnohostranný s průměrem 16 – 18 metrů,
- základ obsahuje 300 – 500 m³ betonu o hmotnosti 1 100 – 1 200 tun,
- beton je vyztužen 40 – 50 tunami ocelových armovacích prutů,
- celková hmotnost betonového základu činí 1 150 – 1 250 tun.

Převodovky

Tradičně se ve větrných elektrárnách používá klasická mechanická převodovka. Ta přeměňuje nízkou obvodovou rychlost na vyšší otáčky, které potřebují generátory s nižším počtem pólů. Naopak bezpřevodovkové elektrárny jsou novější, převodovku nepotřebují. Generátory těchto elektráren mají vyšší počet pólů a stačí jim nižší otáčky. Hlavní výhodou bezpřevodovkových gondol je nižší váha, menší počet mechanických částí, menší rozměry a nižší cena. Tím, že je nižší hmotnost gondoly, která má i menší rozměry, je mnohem jednodušší takovou gondolu natáčet na sloupu. Menší počet mechanických částí je výhodný pro snížení poruchovosti. Hlavní nevýhodou je velikost vícepólového generátoru při vyšších výkonech.

Převodovku je nutné správně navrhnout. Její návrh záleží na výkonu elektrického generátoru který na ni bude napojen. Existuje spousta konstrukčních řešení. Pro malé výkony se používají více

hřídelové převodovky. Pro velké výkony se používají planetové převodovky. Hlavními ukazateli převodovek je účinnost a hlučnost. Účinnost převodovek je velmi vysoká, záleží na konstrukci a použitých mazivech. Malé více hřídelové převodovky se podílejí na ztrátě výkonu kolem 2 %, velké planetové převodovky mají ztrátu kolem 1 %. Hlučnost převodovek je kolem 80 dB u malých výkonů kolem 100 kW, u výkonů nad 1 MW se hlučnost pohybuje kolem 85 dB. Převodovky se dnes vyrábějí s dlouhou dobou životnosti, kolem 20 let a také minimální potřebou na výměnu oleje.

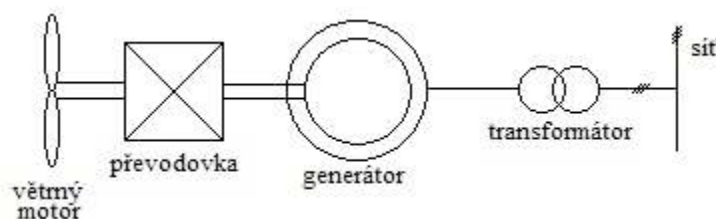
Generátory

V elektroenergetice rozlišujeme dva druhy generátorů elektrické energie, synchronní a asynchronní generátor. Spolu s větrným motorem tvoří nejdůležitější součást větrné elektrárny. Oba dva druhy generátoru se v případě nízké rychlosti větru, kdy se větrná elektrárna sama nedokáže rozeběhnout, použijí jako motor. Následně se přejde do generátorického režimu a elektrárna začne elektřinu vyrábět. Účinnost elektrických generátorů je kolem 70 % u malých generátorů o výkonu v desítkách kW. U generátorů velkých výkonů je účinnost až 95 %, zde se jedná už o výkony v jednotkách MW. Rozdíl mezi synchronním a asynchronním generátorem je velmi malý, asynchronní generátor má účinnost maximálně o 2 % nižší než synchronní generátor.

Použití jednoho nebo druhého typu generátoru má svoje výhody a nevýhody. Jejich použití závisí i na připojení do elektrické sítě. Nejdříve se používalo přímé připojení do sítě (Obr.2.15), schéma je shodné pro oba druhy generátoru. V případě synchronního generátoru se toto zapojení používalo především dříve v USA, jalový výkon byl regulován pomocí buzení na generátoru. Nebylo tak nutné používat přídavné zařízení. Bylo ale nutné použít synchronizační zařízení pro připojení na síť. Při velkých úhlech zatížení vznikaly velké rázy.

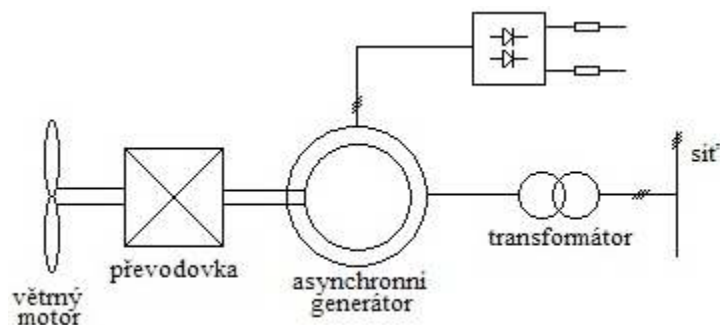
Naopak asynchronní generátory toto zapojení používaly velmi často, především třílísté vrtule se stall regulací používaly toto zapojení po řadu dekad. Skluz generátoru zde zajišťoval připojení k síti. Pomocí tyristorů byla prováděna kontrola úhlu, která zabraňovala rázovému úhlu. Na kompenzaci jalového výkonu se používaly připojené kondenzátory. Opět zde byly připojeny synchronizační zařízení. Nevýhoda byla klesající účinnost na skluzu a bylo nutné řešit rozptyl tepla, které vznikalo s rostoucím skluzem.

[1]



Obr. 2.15 Přímé připojení větrné elektrárny na síť [1]

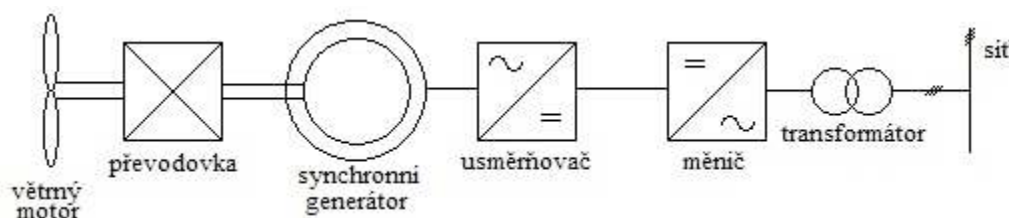
Rozvojem větrné techniky a elektronických součástek se výrobci větrných elektráren snažili řešit problematiku připojení elektráren do sítě. Jednou z možností bylo připojení odporů do rotorového obvodu asynchronního generátoru (Obr.2.16). Tento systém se u firmy Vestas označoval jako Optislip. Jednalo se o dynamický systém na kontrolu skluzu, připojené odpory umožňovaly řídit souběh rychlostí a dodržet podmínky provozu. Odpory způsobovaly snížení účinnosti asi jen o 2 až 3 procenta. Další možností bylo použít 2 generátory, jeden na nižší rychlosti, druhý na vyšší. To se nadále vyvinulo na generátory s přepínatelným počtem pólů.



Obr. 2.16 Větrná elektrárna s kontrolou skluzu [1]

Všechny tyto systémy připojení nahradily generátory, které pracují s proměnlivými otáčkami. Vyrobená elektrická energie jde do usměrňovače a následně do měniče kde je vyráběno harmonické napětí o frekvenci 50 Hz. V tomto zapojení se používají oba dva druhy generátorů, hlavním problémem bylo udržet kvalitu elektrické energie z ohledem na vyšší harmonické. Dřívější 6-pulsní měniče nahradily 12-pulsní, nové měniče používají moderní tranzistory IGBT.

U synchronního generátoru se používá zapojení (Obr.2.17) usměrňovač, stejnosměrná cesta a střídač, ten je pak napojen elektrickou sítí. Nenastává zde problém se synchronizací do sítě, většina negativních vlivů byla spojena s kvalitou elektrické energie, ty však byly odstraněny pomocí moderní elektroniky.

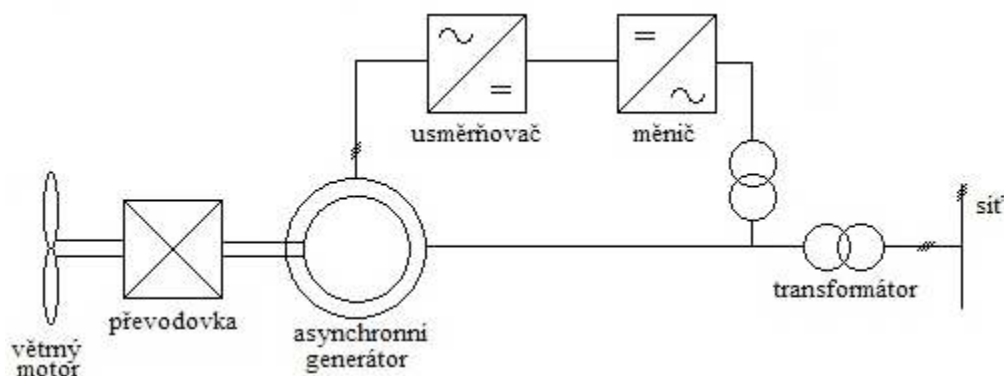


Obr. 2.17 Synchronní generátor se stejnosměrnou linkou [1]

Asynchronní generátor má zapojený usměrňovač a měnič v kaskádním zapojení (Obr.2.18), to umožňuje řídit elektrické točivé pole řízením proudu ve stejnosměrné lince. Generátor tak pracuje

vždy s vyššími otáčkami než jsou synchronní. Problémem zde je jalová energie, ta je však kontrolována řídicím systémem.

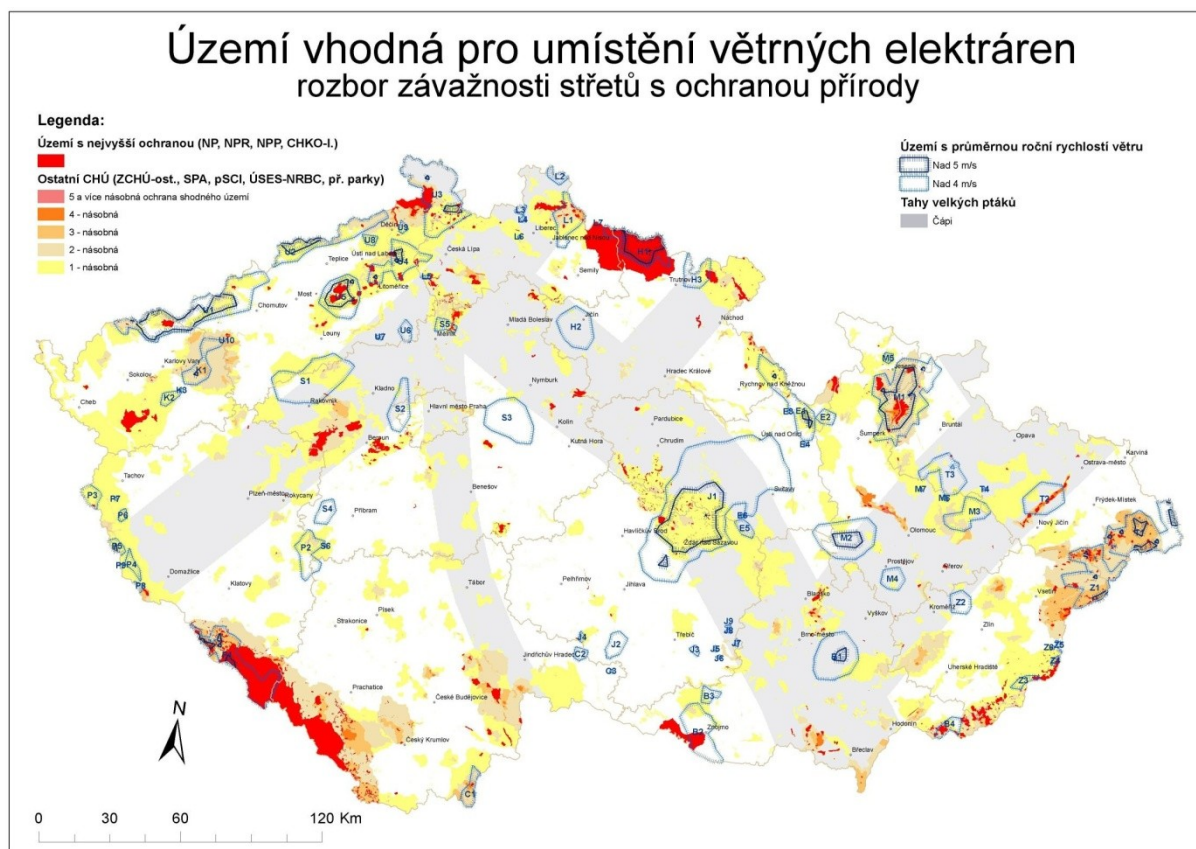
[1]



Obr. 2.18 Asynchronní generátor v kaskádním zapojení [1]

2.4.5 Volba vhodné lokality

Pro správné určení potenciálu větrné energie je nejdůležitějším krokem zjištění reálných větrných podmínek. Z tohoto důvodu jsou vytvářeny tzv. větrné mapy, které udávají přibližnou představu o rychlosti větru. Z větrné mapy lze vyčíst, že VTE není vhodné stavět zdaleka všude, ale i tak příznivých míst není málo. Nejrozsáhlejší větrné oblasti se nacházejí v Krušných horách, v Nízkém Jeseníku a na Českomoravské vrchovině, nalézt vhodná místa však lze i jinde, např. na Dražanské vrchovině či v západních Čechách. Největřnější lokality jsou zejména na hřebenech Krušných hor. Zde se průměrná rychlost větru pohybuje i kolem 7 m/s ve 100 m nad zemí. Území vhodná pro umístění větrných elektráren jsou zobrazena v Obr.2.19.



Obr. 2.19 Území vhodná pro výstavbu VTE [6]

3 Popis hybridního ostrovního systému na VŠB – TUO

V dnešní době jsou stále více populární tzv. hybridní obnovitelné zdroje elektrické energie. Velmi často se jedná o paralelní spolupráci větrné a fotovoltaické elektrárny. Výkon z jednotlivých zdrojů je využit pro nabíjení akumulčního zařízení, z něhož je hrazena spotřeba elektrické energie v samostatné izolované napěťové soustavě. V případě hybridních zdrojů elektrické energie je využita časově odlišná závislost provozu jednotlivých zdrojů. Tato odlišná závislost provozu jednotlivých zdrojů znamená, že v zimních měsících je akumulční zařízení nabíjeno energií z větrné elektrárny a to z důvodu převažujícího větrného proudění. Naopak v letním období je minimální počet dnů s optimálním větrným prouděním, a proto je akumulční zařízení nabíjeno energií z fotovoltaických panelů.

Jednotný hybridní zdroj s možností napájení izolovaných napěťových soustav vzniká spojením dvou obnovitelných zdrojů s odlišným principem přeměny elektrické energie. Uvedenou kombinací provozu jednotlivých zdrojů je významně zvýšen a stabilizován interval dodávky elektrické energie. Hybridní systémy takto vytvořené lze využít pro napájení odlehlých chatových osad, rodinných domů. Systém je také možno využít při napájení veřejného osvětlení, počítačových serverů, tunelů, zkrátka všude tam, kde je vybudování přípojky na veřejnou síť problematické a také tam, kde jsou zvýšeny nároky na stabilitu dodávky elektrické energie.

V areálu Vysoké školy Báňské – Technické univerzity Ostrava byl vybudován pilotní hybridní ostrovní napájecí systém. Tento hybridní systém je využíván pro napájení svítidel veřejného osvětlení. Jedná se o dva odlišné typy fotovoltaických panelů a dvě malé větrné elektrárny s horizontální a vertikální osou otáčení, jimiž vyrobená elektrická energie je akumulovaná do baterií, které napájejí během nočních hodin dvě svítidla veřejného osvětlení.

Tento systém se nachází v areálu univerzity mezi budovou C a menzou a je rozdělen na tři části, dva sloupy veřejného osvětlení a rozvaděč. Na každém sloupu je umístěna jedna lampa veřejného osvětlení, jeden fotovoltaický panel a jeden generátor větrné elektrárny. Sloupy se od sebe liší, jelikož na každém sloupu je použita jiná technologie pro přeměnu větrné a sluneční energie a také jiný spotřebič veřejného osvětlení. Pravý sloup při pohledu od budovy C je označen jako první, levý sloup jako druhý. Větrná elektrárna s horizontální osou otáčení, polykrystalický fotovoltaický panel a LED svítidlo se nachází na prvním sloupu. Naopak na sloupu druhém je umístěn generátor větrné elektrárny s vertikální osou otáčení, multikrystalický fotovoltaický panel a lampa se sodíkovou výbojkou. Veškerá el. výzbroj se nachází v centrálním rozvaděči.

3.1 Hybrid 1 pravý sloup

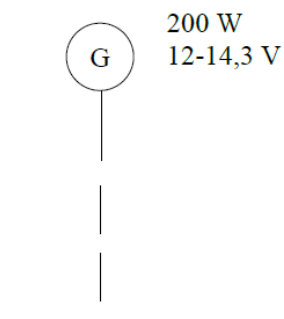


Na pravém sloupu se nachází hybridní systém 1. Jako zdroje elektrické energie využívá kombinaci malé horizontální větrné elektrárny a fotovoltaického panelu, které slouží pro napájení svítidla veřejného osvětlení.

Obr. 3.1 První pravý sloup hybridního napájecího systému

Větrná elektrárna VT1

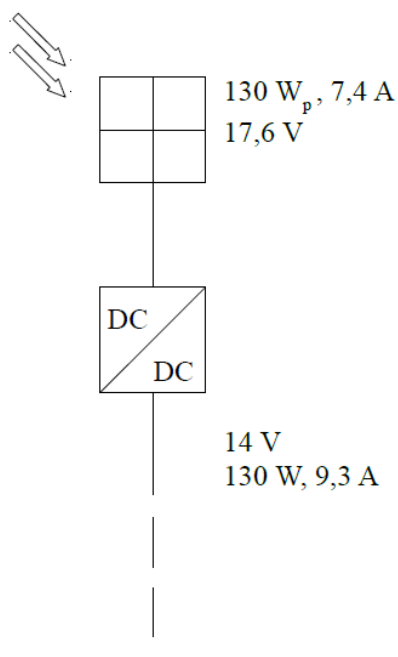
Jedná se o horizontální větrnou elektrárnu Air Breeze Land o jmenovitém výkonu synchronního generátoru s permanentními magnety 200 W. O úpravu napěťového signálu na požadovanou úroveň k regulaci nabíjení akumulátorové baterie se stará mikroprocesorový inteligentní regulátor. Vzhledem k této skutečnosti může být generátor přímo připojen na baterii bez jakékoliv konverze. Základní technické parametry jsou uvedeny v příloze č. 2. Schéma zapojení větrné elektrárny je znázorněno na Obr.3.2.



Obr. 3.2 Blokové schéma připojení větrné elektrárny VT1

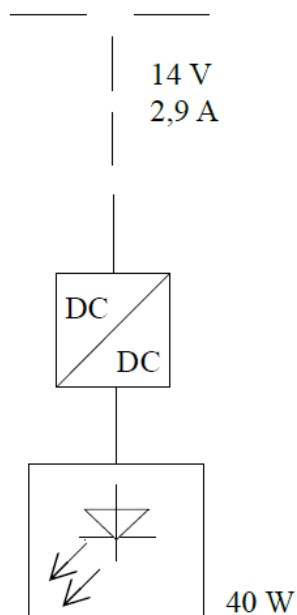
Fotovoltaický panel FV1

Jako druhý zdroj hybridního systému 1 je instalován polykrystalický fotovoltaický panel Kyocera, jmenovitým výkonu 130 W. Výstupní napětí z fotovoltaického článku může naprázdno dosahovat až 22V, při jmenovitém výkonu dosahuje 18V. Fotovoltaický článek je připojen k baterii přes regulátor, který má na starosti zajistit požadované hodnoty napětí pro optimální nabíjení baterii. Panel fotovoltaického systému je instalován směrem na jižní stranu s náklonem 35° pro získání maximální účinnosti přeměny energie slunečního záření na elektrickou energii. Připojení fotovoltaického panelu k baterii je patrné z Obr. 3.3.

**Obr. 3.3 Blokové schéma připojení FV1**

Veřejné osvětlení VO1

Jako spotřebič číslo1 je instalovaný světelný zdroj Philips Mini-iridium LED 31W. Mezi baterií a svítidlem je připojen střídač 12V DC/ 230V AC pro napájení světelného zdroje. Spínání svítidla probíhá na základě signálu vyslaného ze soumrakového čidla. Další technické parametry svítidla se nacházejí v příloze č. Schéma připojení spotřebiče č.1 se nachází na obrázku č. 3.4.



Obr. 3.4. Blokové schéma připojení VO1

3.2 Hybrid 2 levý sloup

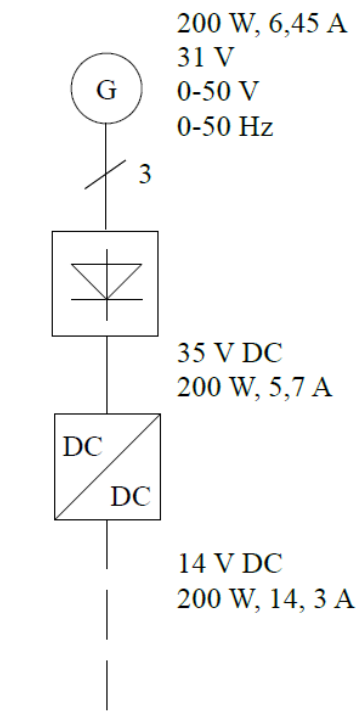


Na levém sloupu se nachází hybridní systém 2. Jako zdroje elektrické energie využívá kombinaci malé vertikální větrné elektrárny a fotovoltaiického panelu, které slouží pro napájení svítidla veřejného osvětlení.

Obr. 3.5 První pravý sloup hybridního napájecího systému

Větrná elektrárna VT2

Jedná se o vertikální větrnou elektrárnu typu SAWT model P200, kterou tvoří třífázový synchronní generátor s permanentními magnety. Výstupní napětí ze synchronního generátoru je nutné usměrnit a zajistit požadované hodnoty pro optimální nabíjení akumulátorové baterie. K usměrnění napěťového signálu je využit třífázový neřízený napěťový usměrňovač. Ten usměrní střídavé napětí na stejnosměrné, ale však nezajistí požadovanou hodnotu napětí pro baterii, proto musí být využit DC/DC, který zajistí požadovanou hodnotu napětí pro optimální nabíjení akumulátorové baterie. Zapojení větrné elektrárny je znázorněno na Obr. 3.6.



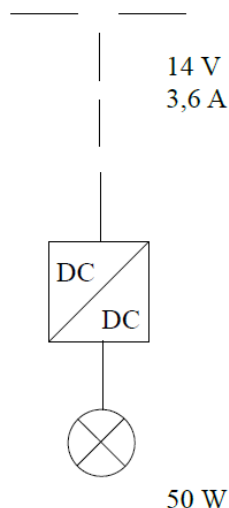
Obr. 3.6 Schéma připojení VT2

Fotovoltaický panel FVE2

Jako druhý zdroj hybridního systému 2 je instalován multikrystalický fotovoltaický panel Kyocera o jmenovitém výkonu 110 W. Výstupní napětí z fotovoltaického článku může naprázdno dosahovat až 22V, při jmenovitém výkonu dosahuje 18V. Fotovoltaický článek je připojen k baterii přes regulátor, který má na starosti zajistit požadované hodnoty napětí pro optimální nabíjení baterii. Panel fotovoltaického systému je instalován směrem na jižní stranu s náklonem 35° pro získání maximální účinnosti přeměny energie slunečního záření na elektrickou energii. Připojení fotovoltaického panelu k baterii je totožné s připojením FVE1.

Veřejné osvětlení VO 2

Jako spotřebič číslo 2 je instalovaný světelný zdroj v podobě halogenové výbojky CPO 45W. Mezi baterií a svítidlem je připojen střídač 12V DC/ 230V AC pro napájení světelného zdroje. Spínání svítidla probíhá na základě signálu vyslaného ze soumrakového čidla. Další technické parametry svítidla se nacházejí v příloze č. Schéma připojení spotřebiče č.2 se nachází na obrázku č. 3.7.



Obr. 3.7 Blokové schéma připojení VO2

3.3 Rozvaděč

Rozvaděč je umístěn v betonové patce, která se nachází v bezprostřední blízkosti sloupů hybridních systémů. Nachází se zde veškerá elektrotechnická výbava představující regulátory, měniče, pojistky, jističe, odpojovače. Také se zde nachází měřící systém cRIO, který musí odolávat teplotám v rozvaděči od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, tato skutečnost se musela zohlednit při návrhu monitorovacího systému. Zlepšení těchto teplotních podmínek není možné, jelikož odvětrávání nebo vyhřívání rozvaděče by vedlo k další spotřebě energie, což by bylo nehospodárné.

Akumulátorové baterie

V rozvaděči se především nacházejí akumulátorové baterie, jsou zde použity Ni-Cd francouzského výrobce Saft typu Sunicapus o celkové kapacitě 375 Ah, 12 V. Tyto baterie jsou určeny speciálně pro PV aplikace. Pro dosažení jmenovitého napětí baterie je zde do série spojeno celkem 10 akumulátorů o napětí 1,2 V. Životnost baterie je odhadována výrobcem více než 500 cyklů nabití – vybití. Jedná se o zaplavenou konstrukci s doplňovacím systémem vody, bez rekombinace plynů vznikajících při nabíjení.

- Jmenovitá kapacita 375 Ah
- Nízká spotřeba vody díky rekombinaci plynů
- Pracují v širokém rozsahu teplot $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Vysoká výkonnost při nízkých teplotách



Obr. 3.8 Ni-Cd akumulátor SUNICA PLUS výrobce SAF

Přepět'ové ochrany:

Jednopolový svodič přepětí chrání neuzemněné stejnosměrné obvody fotovoltaických panelů do hodnoty přepětí 1000V vlivem atmosférických výbojů.

DEHNgard PV500 SCP určuje nový standard bezpečnosti solárních zařízení. Kontrolní a odpojovací zařízení „Thermo Dynamic Control“ je zkombinováno se zkratovacím zařízením. Rovněž reaguje na přetížení zařízení, například při poruše izolace v obvodech fotovoltaického generátoru, tím zabraňuje vzniku požáru.

- Zkratová odolnost trvalá: 50 A DC.
- Zkratová odolnost krátkodobá 50kA (efektivní hodnota).
- Svodič je osazen rychlým výkonným varistorem ZnO s vysokou schopností odvádět impulsní proudy.
- Porucha je signalizována červeným polem.



Obr. 3.9 Přepět'ová ochrana jednopolová pro solární panely

Tří pólový svodič přepětí chrání vnitřní zařízení větrných elektráren před přepětím. Kompletně zapojená jednotka pro síť TN-C je přizpůsobena na lištu TS35.

- Dvoudílnou konstrukci tvoří základní díl a ochranné moduly odolné proti vibracím.
- Ochranné moduly jsou osazeny výkonnými varistory ZnO se zvýšeným trvalým přípustným napětím, kterým je zohledněno krátkodobé kolísání napětí.
- Vysoký stupeň bezpečnosti je zajištěn odpojovacím zařízením „Thermo Dynamic Control“ s dvojitou kontrolou.
- Porucha je signalizována červeným polem na každé fázi.



Obr. 3.10 Přepět'ová ochrana třípólová pro větrnou elektrárnu

Měniče napět'ové úrovně DC/DC Mean Well SD-350C



Obr. 3.11 Měnič napět'ové úrovně Mean Well

Jedná se o měnič napět'ové úrovně, který je zařazen za usměřňovačem větrné elektrárny VT2 a zajišťuje optimální hodnotu napětí pro nabíjení akumulátorových baterií.

Technické parametry:

Vstup	DC napětí	12V
	Jmenovitý proud	27,5A
	Proudový rozsah	0-27,5A
	Výkon	330W
	Rozsah napětí	11-16V DC
Výstup	DC proud	8,8A / 48V
	účinnost	81%

Tab. 3.1 Technické parametry měniče Mean Well

Solární regulátor CXN Phocos 20A

Obr. 3.12 Solární regulátor CXN Phoco

Tento regulátor je v systému zařazen za výrobu elektrické energie z fotovoltaických panelů, každý fotovoltaický panel disponuje svým regulátorem a slouží k zajištění požadované hodnoty napětí pro optimální nabíjení akumulátorových baterií.

Technická specifikace:

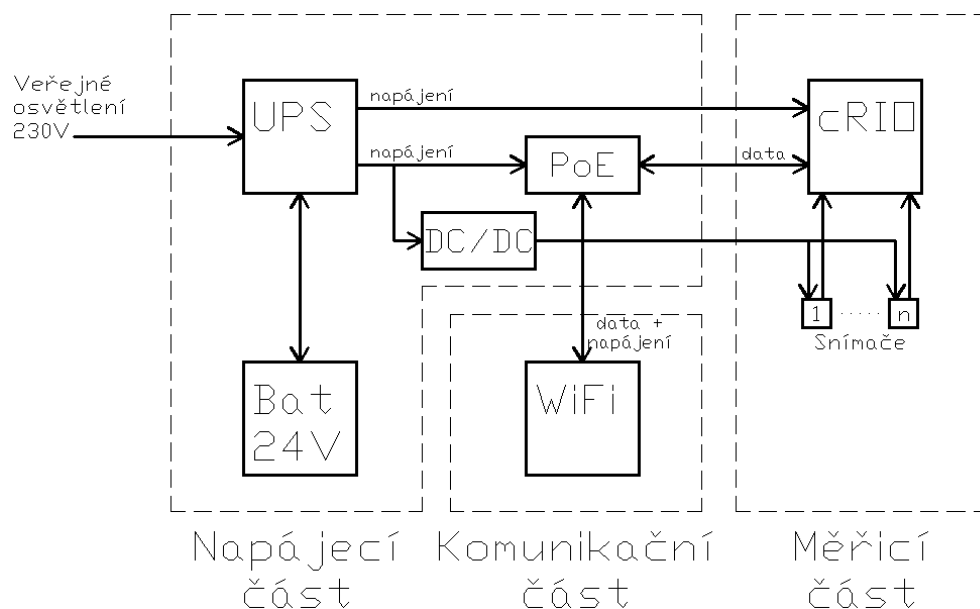
Nominální napětí	12 V / 24 V, automatická nastavení
Nabíjecí napětí	14,4 V / 28,8 V (25°C)
Teplotní kompenzace	4 mV/ FV článěk x K
Max. zátěž z FV systému	10; 20; 40 A dle typu 25°C(bez proudové zátěže) v 50°C
Max. proudová zátěž	10; 20; 40 A dle typu 25°C(bez proudové zátěže) FV v 50°C
Rozměry	89 x 90 x 38 mm (v x š x tl)
Vlastní spotřeba	4 mA
Okolní pracovní teplota	-25°C do + 50°C

Tab. 3.2 Technické parametry regulátoru CXN Phocos

3.4 Monitorovací systém

Pro analýzu provozních stavů hybridního systému je nutné vytvořit monitorovací systém, který měří výkonové parametry, tedy hodnoty jednotlivých proudů a napětí příslušných větví obvodu a poskytuje tyto hodnoty k další analýze účinnosti jednotlivých prvků obvodu. Schéma zapojení hybridního systému a vyznačení všech měřicích bodů je znázorněno v Obr. 4.1. Měření se provádí v časových intervalech jedné minuty a zaznamenaná data se zaznamenávají na vzdáleném počítači. K měřicímu systému není zavedena přípojka elektrické sítě. V hybridním systému je vygenerováno jednofázové střídavé napětí, které slouží k napájení veřejného osvětlení systému. Sepnutí přívodu je řízeno somrákovým spínačem, to znamená, že se v ročním období bude lišit doba sepnutí, v létě tato doba bude okolo 8 hodin, v zimě okolo 16 hodin.

Měřicí části systému je malý a výkonný modulový systém Ni cRIO, který má malé rozměry a nízkou spotřebu energie, také vyhovuje požadavkům na venkovní umístění, protože má vysoký rozsah provozních teplot. Jelikož do systému není přivedeno žádné trvalé napětí, musí se zabezpečit nepřerušované napájení měřicího systému. Možným řešením je použití systému UPS, který je sestavený z baterie a rozvaděče. Baterie musí mít napětí 24 V a dostatečnou kapacitu, aby dokázala napájet celý měřicí systém na požadovanou dobu. Je zde použito DC/DC měničů pro napájení wifi zařízení 9 V a měřicí převodníky 15 V. Spotřeba wifi zařízení a měničů je téměř 40 W, což je příliš vysoká hodnota. Řešením je odpojování nepotřebných zařízení v době jejich nečinnosti. Měření se provádí jen několik málo sekund každou minutu. Měřicí převodníky a wifi zařízení mohou být převážnou většinu času vypnuty. Spínání těchto zařízení zajišťuje karta digitálních výstupů NI 9472.

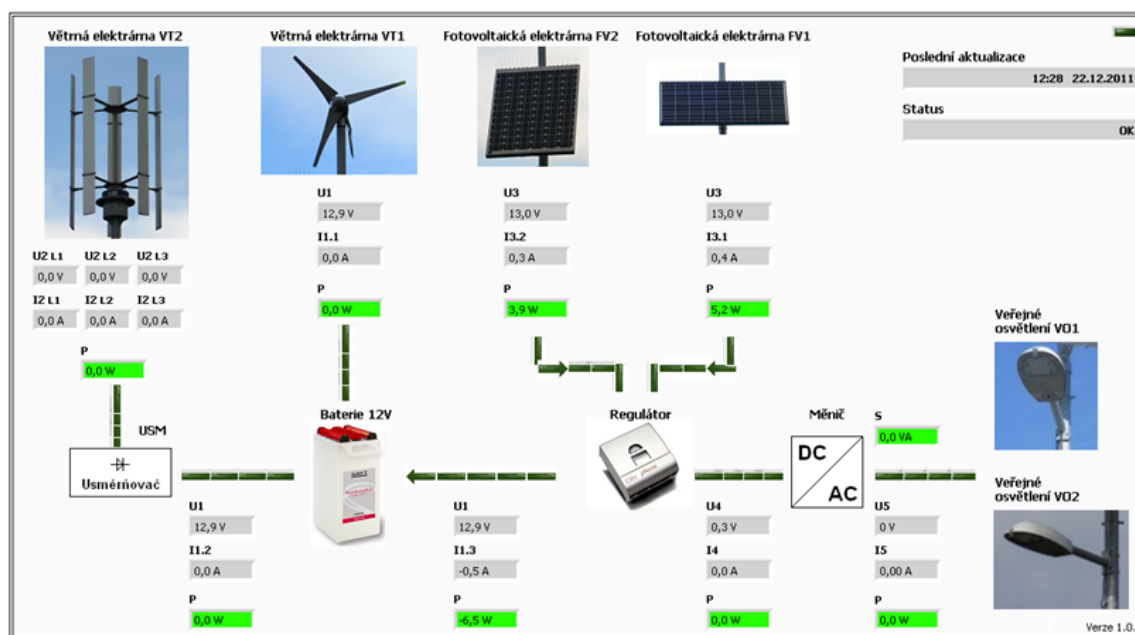


Obr. 3.13 Schéma monitorovacího systému umístěného v rozvaděči

Komunikace mezi měřicím systémem a vzdáleným PC probíhá po vnitřní wifi síti VŠB – TUO. Vzdálený počítač slouží k ukládání a zobrazování naměřených dat. Systém cRIO posílá tomuto počítači naměřená data, tyto data se ukládají ve vhodném formátu, aby je bylo možné jednoduše zpracovávat, a následně se data zobrazují ve webové vizualizaci. Tato vizualizace je dostupná na univerzitní síti VŠB-TUO a oprávnění uživatelé si mohou prohlédnout fungování hybridního napájecího systému.

Monitoring hybridního napájecího systému na VŠB-TU Ostrava

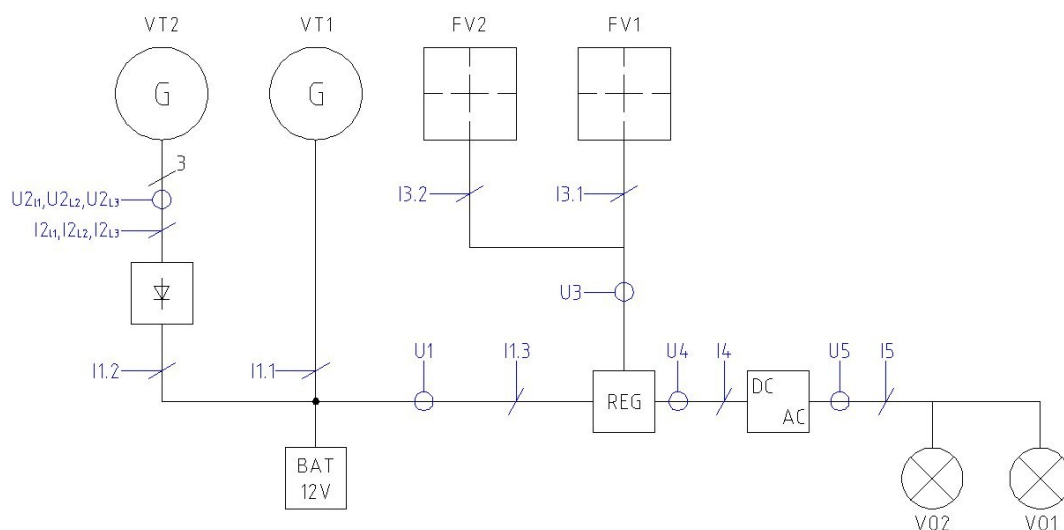
Tato webová prezentace obsahuje vizualizační program, který zobrazuje aktuálně naměřené výkonové parametry hybridního napájecího systému.



Obr. 3.14 Webová vizualizace pro analýzu provozních stavů hybridního systému VŠB – TUO

4 Analýza provozních stavů

V této kapitole byly popsány provozní stavy hybridního napájecího systému, které byly analyzovány pomocí mikroprocesorového monitorovacího systému cRIO. Celkem je monitorováno deset proudových a sedm napěťových signálů o různých velikostech a různých povahách signálu (AC, DC), jak ukazuje Obr.4.1. Naměřené hodnoty za sledované období čtrnácti měsíců, a to od 1.7.2011 do 31.8.2012 byly importovány do tabulkového editoru MS Excel, kde byly dále zpracovávány. V následující kapitole proběhne vyhodnocování naměřených hodnot.



Obr. 4.1 Schéma zapojení hybridního systému včetně vyznačení měřících bodů

Všechny zdroje předávají vyrobenou energii do baterie a to buď přímo, nebo přes regulační prvek. Fotovoltaické panely jsou paralelně spojené a přes společný regulátor dobíjení baterie. Větrná elektrárna VT1 má vestavěný regulátor dobíjení a proto může být přímo napojena na baterii. Naproti tomu nemá větrná elektrárna VT2 zabudovanou žádnou regulační elektroniku a jejím výstupem je 3f napětí o proměnné amplitudě i frekvenci. Zde je mezi generátorem a baterií nutné zařadit usměrňovač a regulátor. Regulátor byl ovšem během provozu systému odstraněn, protože na něm docházelo k nadměrnému úbytku napětí a generátor nebyl téměř schopný dobíjet baterii. Bez regulátoru je již nabíjení funkční a přitom nedochází k přebíjení baterie kvůli malému výkonu generátoru.

Lampy veřejného osvětlení jsou napájeny ze společného střídače – měniče 12Vss/230Vst. Střídač je napájen přes regulátor z baterií. Je to ten regulátor, který nabíjí baterie z fotovoltaických panelů. Regulátor se stará o správné dobíjení baterie, ale také po setmění spíná lampy veřejného osvětlení. Zároveň hlídá baterii proti nadměrnému vybíjení.

4.1 Analýza a popis měřených veličin hybridního systému

Popis naměřených veličin

Napětí U1

Jedná se o napětí baterie, jmenovité napětí baterie je 12 V stejnosměrných, během nabíjecího cyklu může dosahovat až hodnotu 14 V, která je nastavena v regulátoru tak, aby měřící baterie nebyly přebíjeny.

Napětí U2_{L1}, U2_{L2}, U2_{L3}

Jedná se o napětí, která jsou přímým výstupem ze synchronního generátoru, frekvence i amplituda se mění v závislosti na otáčkách rotoru. Velikost napětí může dosáhnout až hodnoty 50 V a frekvence 50 Hz. Toto napětí je dále usměrněno třífázovým můstkovým usměrňovačem, čímž vzniká maximální napětí 35 V stejnosměrných, dále je použit pro regulaci úrovně napětí DC/DC měnič, na jehož výstupu je možné nastavit požadovanou stabilizovanou úroveň napětí vzhledem na podmínky nabíjecího procesu akumulátorové baterie.

Napětí U3

Jedná se o napětí fotovoltaických panelů, jmenovité napětí panelů při jmenovitém výkonu je 18 V stejnosměrných, naprázdno může dosahovat ke 22 V. Napětí je závislé na energii slunečního záření a na energii dopadajícího slunečního záření na fotovoltaický panel.

Napětí U4

Jedná se o napětí usměrněné měničem a převedeno na nabíjecí napětí akumulátorové baterie. Toto napětí bude dosahovat hodnoty napětí baterie, které je ovšem zmenšeno o úbytek na regulátoru, tzn., že maximální hodnota napětí nikdy nepřekročí 15 V.

Napětí U5

Jedná se o střídavé napětí za střídačem, hodnota napětí by se měla pohybovat $230 \pm 3\%$ V. Hodnota tedy nesmí poklesnout pod 223,1 V a nesmí přesáhnout hodnotu 236,9 V. Z Obr. jsou patrné drobné výkyvy napětí, které jsou způsobené kvalitou měniče a ovlivněny vnějšími vlivy, jakou jsou povětrnostní podmínky a různé zatížení způsobené provozem sodíkové výbojky.

Proud I1.1

Jedná se o proud tekoucí z první větrné elektrárny Air Breeze Land. Ve větrné elektrárně je použit synchronní generátor se zabudovaným regulátorem, proto již není potřeba upravovat jeho výstupní napětí a je připojen přímo na akumulátorovou baterii. Výkon generátoru je 200 W, při zanedbání ztrát na usměrňovači poteče jmenovitý proud 14,3 A.

Proud I1.2

Jedná se o proud tekoucí z usměrňovače větrné elektrárny VT2, který po usměrnění teče do akumulátorové baterie.

Proud I1.3

Jedná se o proud, který má dva různé průběhy. Během dne teče proud z regulátoru fotovoltaických panelů do baterie, naopak v nočních hodinách se jedná o proud, který teče z regulátoru do baterie a dále přes střídač až do napájení zátěže. Proud bude mít kladnou hodnotu, jestliže poteče z baterie do regulátoru, maximální možná hodnota proudu je dána součtem proudů z fotovoltaických panelů tekoucích přes regulátor do baterie. Maximální proud při teoretickém výkonu obou panelů 240 W činí 23,5 A.

Proudy $I_{2,1}, I_{2,2}, I_{2,3}$

Jedná se o proudy, které jsou přímým výstupem ze synchronního generátoru, jejich frekvence se mění v rozmezí 0 – 50 Hz v závislosti na otáčkách rotoru. Fázový proud při jmenovitém výkonu 200 W a napětí 31 V činí 6,45 A.

Proud I3.1

Jedná se o proud, který je přímým výstupem z fotovoltaického panelu 1, jeho hodnota je závislá na energii přímého dopadajícího slunečního záření na fotovoltaický panel. Při jmenovitém výkonu 130 W a jmenovitém napětí 18 V teče maximální proud 7,2 A.

Proud I3.2

Jedná se o proud, který je přímým výstupem z fotovoltaického panelu 2, jeho hodnota je závislá na energii přímého dopadajícího slunečního záření na fotovoltaický panel. Při jmenovitém výkonu 110 W a jmenovitém napětí panelu 17,6 V je maximální proud tekoucí 6,25 A.

Proud I4

Tento proud teče z regulátoru do střídače. Jeho velikost je dána odebíraným výkonem zátěže, tedy lamp veřejného osvětlení, a účinností měniče. Zátěž odebírá celkem 90 W, výkonová ztráta měniče bude uvažována 20%, tzn. 18 W. Výkon tekoucí do měniče bude tedy 108 W a při napětí baterie bude proud 7,7 A.

Proud I5

Jedná se o střídavý proud tekoucí do lamp veřejného osvětlení. Při odběru lamp 90 W a jmenovitém napětí 230 V střídavých dostáváme proud 0,4 A.

4.2 Analýza účinnosti hybridního systému

Celková účinnost hybridního systému je počítaná jako součet všech účinností komponent systému, tzn. účinnost větrné elektrárny, fotovoltaické elektrárny a účinnosti všech konverzních zařízení. Pro případ fotovoltaických a větrných elektráren není možné využít výstupní hodnoty napětí pro přímé napájení spotřebičů, a proto je nutné usměrnění výstupního napětí dle požadavků zátěže. V případě hybridních systémů, kdy se jedná o dva různé zdroje, je především problematické nastavení součinnosti provozu zdrojů pro podmínky akumulátorových baterií vyžadující pomalé nabíjecí a vybíjecí procesy.

Fotovoltaické panely

U fotovoltaických panelů jde především o průběhy výstupního napětí při různém zatížení, které se mění v závislosti na energii slunečního záření. Na základě těchto skutečností je nutné zvolit správný regulátor, pomocí kterého je nabíjena a vybíjena akumulátorová baterie. Napětí fotovoltaických panelů je úměrné intenzitě slunečního záření. Tuto závislost lze využít pro ovládání svítidel veřejného osvětlení.

Větrné elektrárny

U horizontální větrné elektrárny VT1 se o úpravu napěťového signálu na požadovanou úroveň k regulaci nabíjení akumulátorové baterie stará mikroprocesorový inteligentní regulátor. Vzhledem k této skutečnosti může být generátor přímo připojen na baterii bez jakékoliv konverze.

Pro úpravu napěťového signálu generátoru vertikální větrné elektrárny VT2 je situace mnohem složitější. Výstupní napětí ze synchronního generátoru s permanentními magnety je nutné usměrnit a stabilizovat na hodnotu napětí potřebnou pro nabíjení akumulátorové baterie. K tomuto lze využít neřízený můstkový usměrňovač. Takto získaný stejnosměrný signál je však nutné upravit na požadovanou úroveň a stabilizovat s ohledem na zatěžovací charakteristiku generátoru. Synchronní

generátor s permanentními magnety nemá možnost regulace úrovně napětí, které je přímo úměrné otáčkám generátoru. Úměrně velikosti výstupu synchronního generátoru se bude měnit i velikost stejnosměrného signálu na výstupu usměrňovače. Pro podmínky nabíjecího procesu akumulátorové baterie je vhodné použít DC měnič. Při použití polovodičových součástí je nutné počítat s deformací proudových i napěťových signálů vlivem spínací frekvence měniče. Deformace sledovaných veličin však není jediným negativním ovlivněním provozu, každé konverzní zařízení pracuje s určitou účinností, která se promítne do celkové účinnosti hybridního systému.

5 Vyhodnocení provozu ostrovních systémů

V této kapitole je provedeno vyhodnocení dat, které byly analyzovány prostřednictvím monitorovacího systému cRIO. Celkem byly zaznamenány data ze 14 měsíců. Porovnávání vyrobeného výkonu z větvných elektráren VT1 a VT2 pro všechny sledované měsíce se jeví jako neobjektivní, jelikož ve sledovaném období byla prováděna na těchto zdrojích optimalizace parametrů a převážnou dobu nebyly zařízení v provozu. Zaznamenané data byly nainportovány do tabulkového editoru MS Excel a následně upravovány. Z hodnot byly vypočteny výkonové poměry a následně sestrojeny grafické závislosti.

Výkony lze vypočítat z hodnot jednotlivých proudů a napětí v příslušných větvích obvodu. Podmínkou pro získání správných hodnot je použití vhodného matematického aparátu. Měřicí systém zaznamenává efektivní hodnoty proudu a napětí. Efektivní hodnota střídavého proudu je hodnota proudu stejnosměrného, který v daném obvodu vykoná za stejný čas stejnou práci jako proud střídavý. U stejnosměrných veličin je situace jednoduchá, ale při střídavých veličinách je teorie složitější.

V obvodu napájeném ze stejnosměrného zdroje je výkon odebíraný zátěží:

$$P = U \cdot I \quad [W, V, A]$$

Při měření výkonu střídavého proudu je definován činný (P), jalový (Q) a zdánlivý výkon (S).

Zdánlivý výkon se vypočítá ze součinu efektivních hodnot a napětí:

$$S = U \cdot I \quad [VA, V, A]$$

Zdánlivý výkon (potažmo i ostatní výkony) lze také vyjádřit vztahem:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad [VA, V, A]$$

Další problém nastává pro vyhodnocení výkonu napětí a proudů U_2 a I_2 . Generátor dodávající tento výkon je třífázový, ale nemá vyvedený střední vodič. Toto zapojení se nazývá třívodičová síť. Řešením je požití buď Aronova zapojení, které využívá pouze dva wattmetry, anebo použít wattmetry tři a vytvořit tzn. umělou nulu. Pro řešení se jevila jako lepší druhá možnost, aby byl přehled o všech fázových napětích a proudech. Při tomto zapojení neodpovídají údaje wattmetrů výkonům v jednotlivých fázích, ale součet údajů dává celkový třífázový výkon.

Při měření třemi wattmetry v třívodičové síti je celkový výkon dán součtem výkonů naměřených jednotlivými wattmetry:

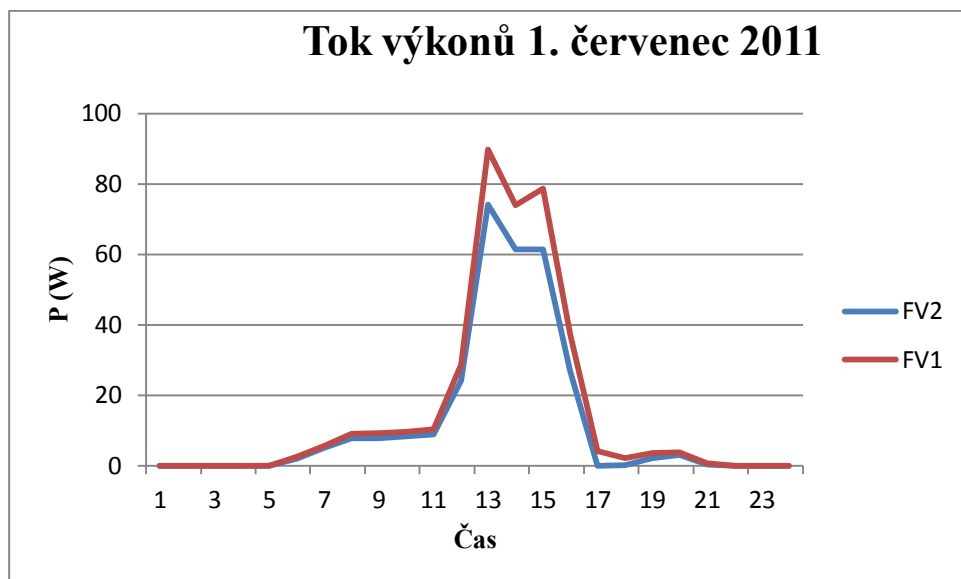
$$P = P_{W_1} + P_{W_2} + P_{W_3} = \frac{1}{T} \int_0^T (u_1 \cdot i_1 + u_2 \cdot i_2 + u_3 \cdot i_3) dt \quad [VA, VA, s, V, A]$$

5.1 Analýza pomocí činných toků zdrojů

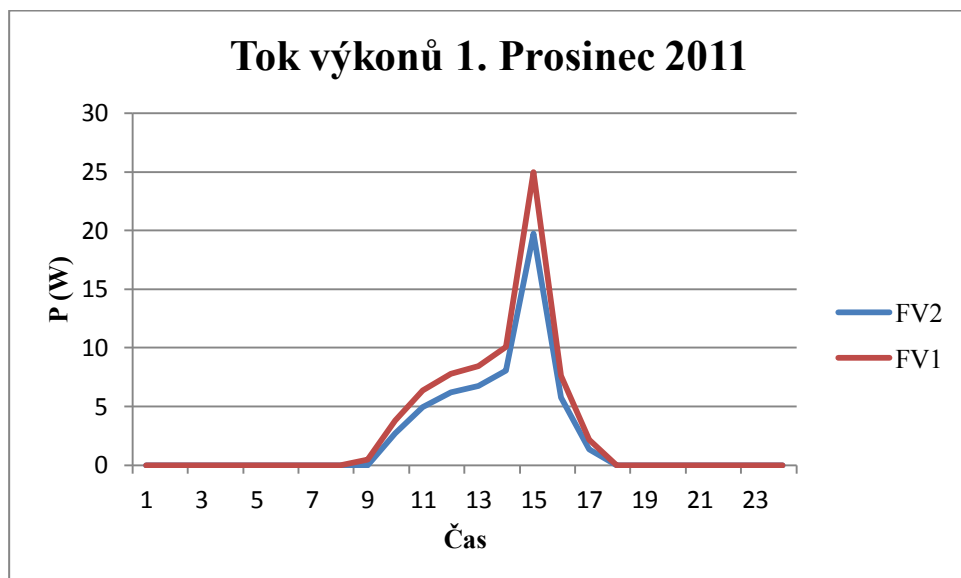
Tok výkonů u FVE1 a FVE2

Je potřeba mít na paměti, že fotovoltaická elektrárna, která je určena k výrobě co největšího ročního množství el. energie a následně k jejímu prodeji. Naopak pro ostrovní fotovoltaické elektrárny pro celoroční využití není tak důležitá celkově vyrobená vyrobená elektrická energie za rok, ale její co nejplynulejší dodávka v rámci celého období využívání a efektivnost její spotřeby.

Jednou z možností hodnocení provozu zejména fotovoltaických panelů je analýza činného toku výkonu ze zdroje za sledované období jednoho dne. Z Obr. 5.1 a Obr. 5.2 lze vyčíst intenzitu slunečního záření dopadajícího na panely v průběhu jednoho dne a s tím přímo související vyrobený činný výkon. Porovnáním obr. 5.1 a obr. 5. 2 je patrné, že v letních měsících solární systémy začínají vyrábět el. energii okolo 6 hodiny, naproti tomu v zimních měsících započíná výroba el. energie okolo 9 hodiny ranní. Tato skutečnost je především ovlivněna vlivem východu slunce a tím dopadající energii slunečního záření. Z obr.5.1 a obr.5.2 lze také vyčíst maximální výrobu výkonu z článků. V době kolem 13 hodiny v letních měsících dosahují fotovoltaické články maximálního výkonu až 89,6 W a účinnost se pohybuje okolo 24 %. Kdežto v zimních měsících dosahuje maximální výroba hodnoty kolem 25W a účinnosti dosažené v tomto období jsou okolo 14%. Srovnáním maximálních výkonů FV1 a FV1 se potvrdila skutečnost, že FV1 má dle technických parametrů maximální výkon 130 W, kdežto FVE, dle technických parametrů dosahuje maximálního výkonu 110 W.



Obr. 5.1 Analýza toků činných výkonů 1. červenec



Obr. 5.2 Analýza toků činných výkonů 1. prosinec

Analýza činného toku výkonu VTE1 a VTE2

Stejně jako u analýzy FV1 a FV2 lze i zde vyčíslit stav vyrobeného výkonu v průběhu dne. Výroba el. energie u větrných elektráren je závislá na rychlosti větru v dané lokalitě, tuto závislost označuje výkonová křivka větrné elektrárny, která je vyobrazena na v příloze. Rychlost větru se nedá dopředu jednoznačně odhadnout v porovnání s fotovoltaickými systémy kde vyrobená energie závisí především na dopadajícím slunečním záření a to je ovlivněné faktem východu a západu slunce.

5.2 Analýza dobíjení akumulátoru

Pro výpočet potřebné kapacity akumulátoru je nutné brát v potaz spotřebovanou energii za běžných podmínek v délce jednoho roku, a také využitím průměrných měsíčních údajů rychlosti větu a intenzity slunečního záření.

Pro správné naddimenzování akumulátorů je důležité brát v potaz ekvivalentní počet dní s nepříznivými podmínkami, které jsou uvedeny v Tab. 5.1.

Měsíc	Období					
	1 den	3 dny	7 dní	14 dní	21 dní	měsíc
Červenec	0,85	2,33	4,47	5,63	6,23	5,81
Srpen	0,84	2,26	3,90	4,73	5,93	4,16
Září	0,91	2,07	4,34	8,30	10,2	12,2
Říjen	0,86	2,31	4,22	6,64	9,02	9,93
Listopad	0,92	2,01	3,56	6,40	7,03	6,11
Prosinec	0,94	1,82	3,28	5,27	5,63	5,90
Leden	0,85	2,37	5,02	6,36	6,37	6,37
Únor	0,79	2,22	4,78	5,07	5,76	5,78
Březen	0,74	2,45	5,08	8,21	10,21	12,54
Duben	0,81	2,21	4,12	7,21	9,05	10,04
Květen	0,84	2,46	4,87	6,32	7,32	4,76
Červen	0,82	2,43	4,21	6,21	6,06	8,92
Červenec	0,88	2,65	4,65	5,86	6,76	7,08
Srpen	0,91	2,23	3,83	4,05	6,04	10,12

Tab. 5.1 Počet dní s nepříznivými podmínkami [11]

Je zde uveden orientační počet dní, během kterého by akumulační zařízení bylo schopné pokrýt spotřebu el. energie zátěží během období uvedeném v prvním řádku tabulky. Pro dimenzování je potřeba brát v potaz nejhorší hodnoty, tzn. hodnoty pro měsíc provozu, tzn. nejhorší situace nastává v měsíci září a to 12,2 dní výpadku zdrojů. Využitím těchto průměrných hodnot však vzniká značná chyba. Požadavek na provoz po dobu 12,2 dní bez zdrojů byl snížen na 3 dny. A to na základě přesnějšího vykonaného měření rychlosti větru a intenzity dopadajícího slunečního záření. Důvodem snížení počtů dnu je také problém s prostorem uložení baterií a samozřejmě návratnost investice by se při použití baterií o větší kapacitě by se značně prodloužila.

Vztah pro dimenzování kapacity baterií:

$$C_B = \frac{(E_Z \cdot n)}{(V_B \cdot DOD_{MAX} \cdot T_{CF} \cdot \eta_B)} = \frac{(800 \cdot 3)}{(12 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,7)} = 352 \text{ A} \cdot \text{h}$$

kde

C_B - kapacita baterií (A · h),

E_Z - energie spotřebovaná zátěží,

n - počet dní bez dobíjení,

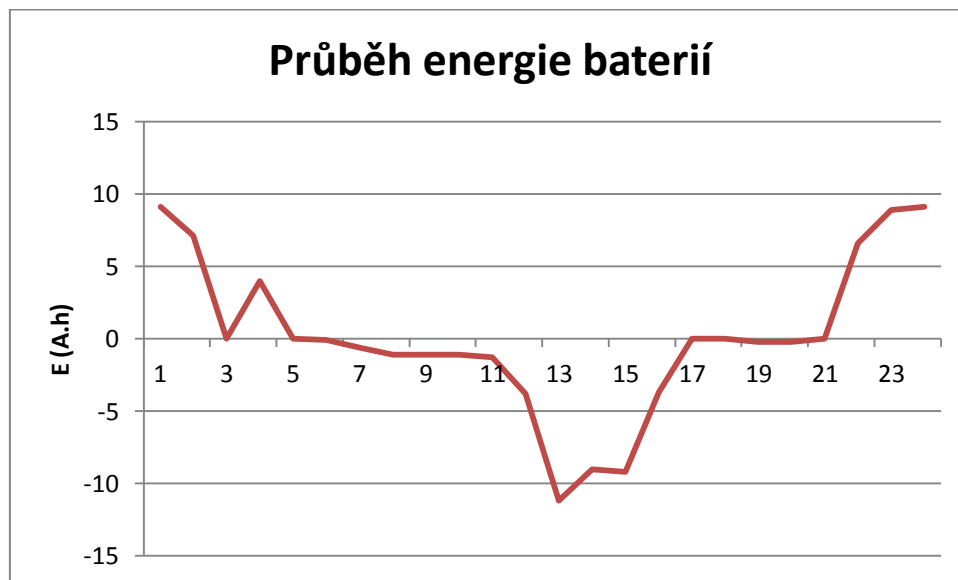
V_B - napětí baterie (V),

DOD_{MAX} - hloubka vybití baterie,

T_{CF} - teplotní korekční faktor,

η_B - účinnost baterií.

Na základě tohoto výpočtu byly zvoleny Ni-Cd baterie francouzského výrobce Saft typu Sunicapus o celkové kapacitě 375 Ah, 12 V. Tyto baterie jsou určeny speciálně pro PV aplikace. Pro dosažení jmenovitého napětí baterie je zde do série spojeno celkem 10 akumulátorů o napětí 1,2 V



Obr. 5.3 Průběh energie baterií během dne

Obr. 5.3 vykresluje denní průběh energie baterií. Hodnoty energie v kladné části grafu vyznačují energii, která směřuje z baterie do regulátoru a je určena pro napájení zátěže, tedy venkovního osvětlení. Hodnoty v záporné části grafu vyznačují energii proudící ze zdrojů směrem do baterie, a slouží k dobíjení akumulátorové baterie. Potvrzuje se zde fakt, že přes den je energie skumulována ze zdrojů do baterie kdežto v noci je nakumulovaná energie využita k napájení venkovního osvětlení.

Vyrobená energie ze všech zdrojů

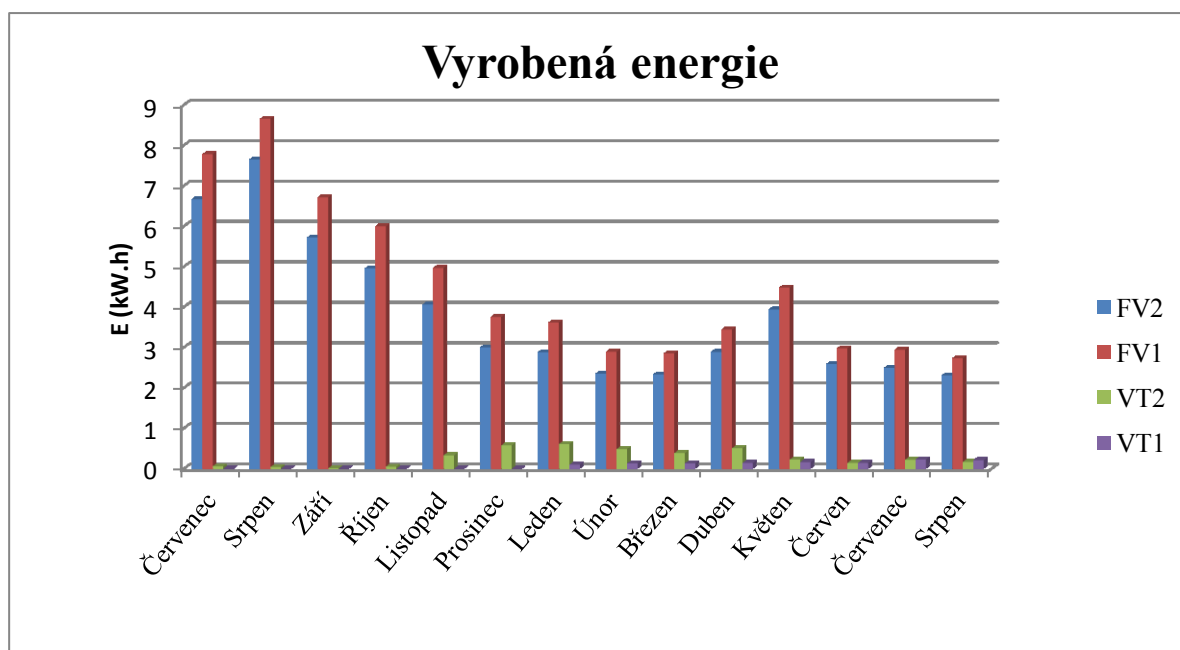
Z obr. 5.4 lze získat představu o celkové vyrobené el. energii všech zdrojů a také porovnat který zdroj ve sledovaném období dominuje. Z tohoto je zřejmé, že za sledované období má největší podíl na výrobě el. energie fotovoltaické panely. Do celkové výroby se zapojuje i VT2, která přispívá v měsíci lednu 0,6 kW.h měsíčně, což je stále zanedbatelná hodnota ve srovnání s výrobou fotovoltaickými panely. Dále lze zhodnotit značný pokles výroby fotovoltaických panelů v zimních měsících. Největší pokles energie nastal u panelu FV2 v únoru, kdy do systému dodal za měsíc únor 2,35 kW.h el. energie. FV2 ve stejném období vyrobil 2,8 kW.h el. energie. Tento rozdíl je dán jmenovitým výkonem panelů. Naopak největší množství el. energie bylo v měsíci srpnu panelem FV1 a to 8,65 kW.h el. energie. Přehled celkové vyrobené energie za jednotlivé měsíce je zobrazený v tab.5.2.

Měsíc	Vyrobená energie (kW.h)			
	FV2	FV1	VT2	VT1
Červenec	6,665	7,778	0,06	0
Srpen	7,65	8,655	0,04	0
Září	5,72	6,71	0,01	0
Říjen	4,957	5,996	0,05	0
Listopad	4,065	4,964	0,33	0
Prosinec	3	3,751	0,577	0
Leden	2,88	3,615	0,61	0,1
Únor	2,353	2,892	0,485	0,13
Březen	2,333	2,851	0,385	0,13
Duben	2,89	3,44	0,508	0,141
Květen	3,94	4,481	0,226	0,163

Červen	2,59	2,976	0,141	0,141
Červenec	2,492	2,941	0,22	0,228
Srpen	2,307	2,73	0,167	0,21

Tab. 5.2 Přehled celkové vyrobené energie

Hodnocení vyrobené energie za sledované období není zcela objektivní, jelikož v průběhu sledovaného období byla prováděna optimalizace technických parametrů u VT1 a VT2. Vzhledem k tomuto byla také snížena spotřeba el. energie veřejným osvětlením, což je patrné z celkové bilance systému uvedené na obr. č. 5.8.



Obr. 5.4 Celková vyrobená el. energie za sledované období

5.3 Koeficient využití jednotlivých zdrojů

Koeficient využití je důležitým ukazatelem efektivity energetického zdroje. Ukazuje, nakolik je v průběhu roku využíván instalovaný výkon každého zdroje. Počítá se jako porovnání skutečného množství vyrobené energie s teoretickým maximálním množstvím, vyrobeným při celoročním provozu se jmenovitým výkonem. Koeficient ročního využití se udává v procentech.

$$k_r = \frac{W_r}{P_i \cdot h}$$

kde:

W_r – roční množství vyrobené energie (kWh/rok),

P_i – instalovaný výkon zdroje (kW),

h – počet hodin v roce (obvykle 8760)

Koeficient využitelnosti fotovoltaických panelů

Hodnoty koeficientu využití byly vyhodnoceny z naměřených hodnot za sledované období devíti měsíců. Teoretická hodnota koeficientu využitelnosti pro fotovoltaické elektrárny se pohybuje okolo 10 %. Jak je patrné z obr. 5.5 fotovoltaické panely takového koeficientu využitelnosti nedosahují, což může být způsobeno špatně zvolenou lokalitou, konstrukcí článku, možností přeměny slunečního záření na el. energii. Dále pak nevhodně zvoleným sklonem panelů.

Koeficient využití FV2

$$k_r = \frac{W_r}{P_i \cdot h} = \frac{49,043}{0,11 \cdot 8760} = 0,0509 \rightarrow 5,01\%$$

Koeficient využití FV1

$$k_r = \frac{W_r}{P_i \cdot h} = \frac{58,109}{0,13 \cdot 8760} = 0,0512 \rightarrow 5,12\%$$

Koeficient využitelnosti větrných elektráren

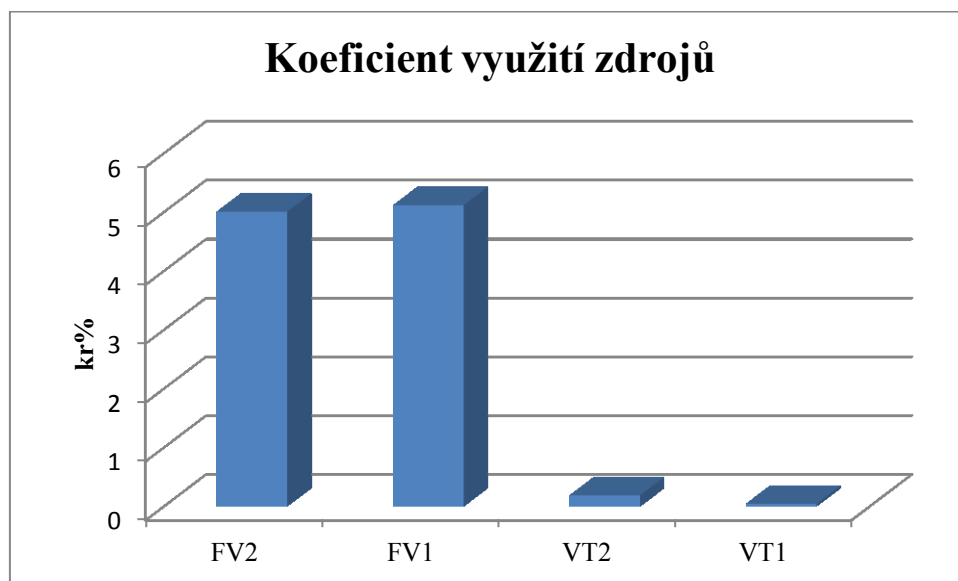
Teoretická hodnota koeficientu využitelnosti pro větrné elektrárny se pohybuje okolo 30 %. Jak je patrné z obr. 5.5 větrné elektrárny takového koeficientu využitelnosti zdaleka nedosahují, protože za sledované období dvanácti měsíců byla na zdrojích prováděna optimalizace parametrů a převážnou dobu nebyla zařízení v chodu.

Koeficient využití VT2

$$k_r = \frac{W_r}{P_i \cdot h} = \frac{3,422}{0,2 \cdot 8760} = 0,001953 \rightarrow 0,19\%$$

Koeficient využití VT1

$$k_r = \frac{W_r}{P_i \cdot h} = \frac{0,805}{0,2 \cdot 8760} = 0,00046 \rightarrow 0,046\%$$



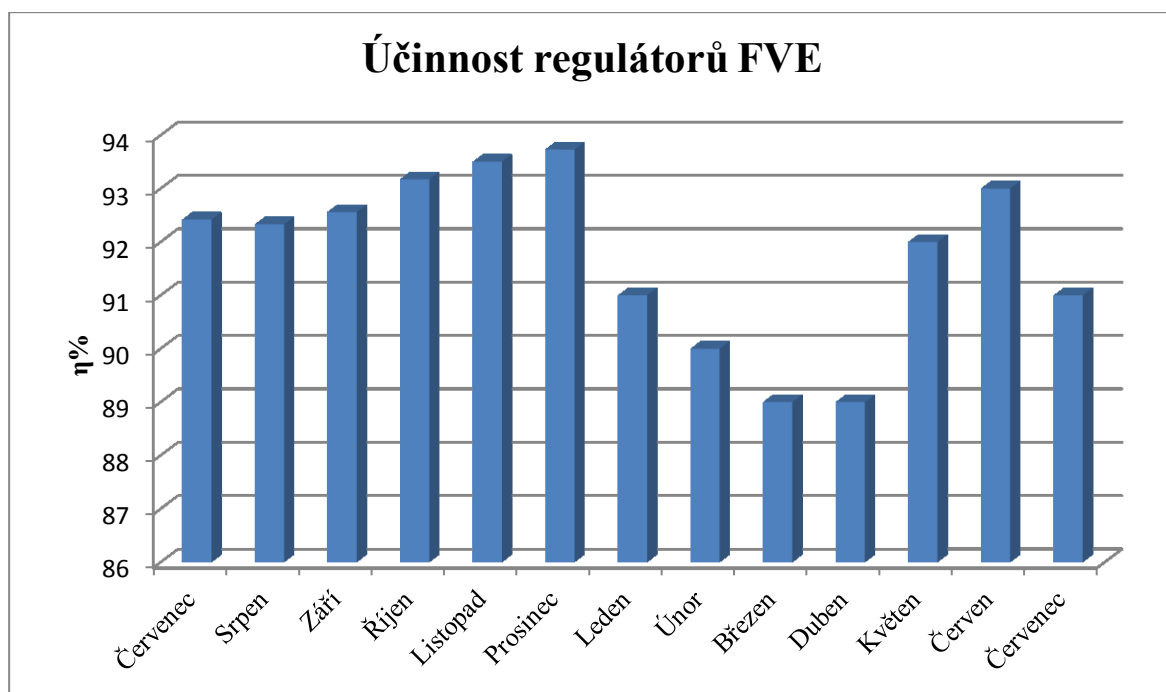
Obr. 5.5 Koeficient využití zdrojů

5.4 Účinnosti měničů napětí hybridního systému

Účinnost regulátoru FVE

U fotovoltaických panelů jde především o průběhy napětí při různém zatížení, které se mění v závislosti na energii dopadajícího slunečního záření. Na základě tohoto je vhodné zvolit regulátor, pomocí kterého je dosaženo požadované hodnoty napětí.

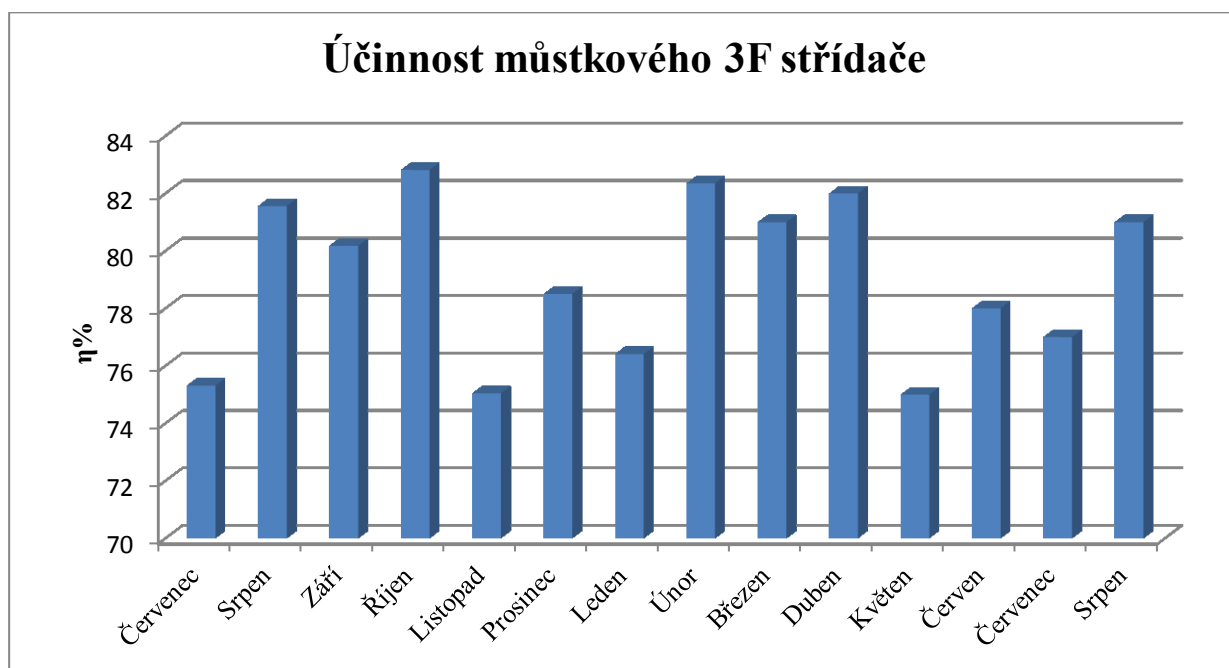
Účinnost regulátoru napětí fotovoltaických článků lze popsat jako vlastní spotřebu měniče napětí. Jedná se o ztráty, které vznikají přeměnou části energie na teplo, jsou to ztráty vzniklé v polovodičových součástkách, především v koncových tranzistorech měničů. Účinnost současných měničů se pohybuje okolo 90%.



Obr. 5.8 Účinnost regulátorů FV2

Účinnost 3F střídače VT2

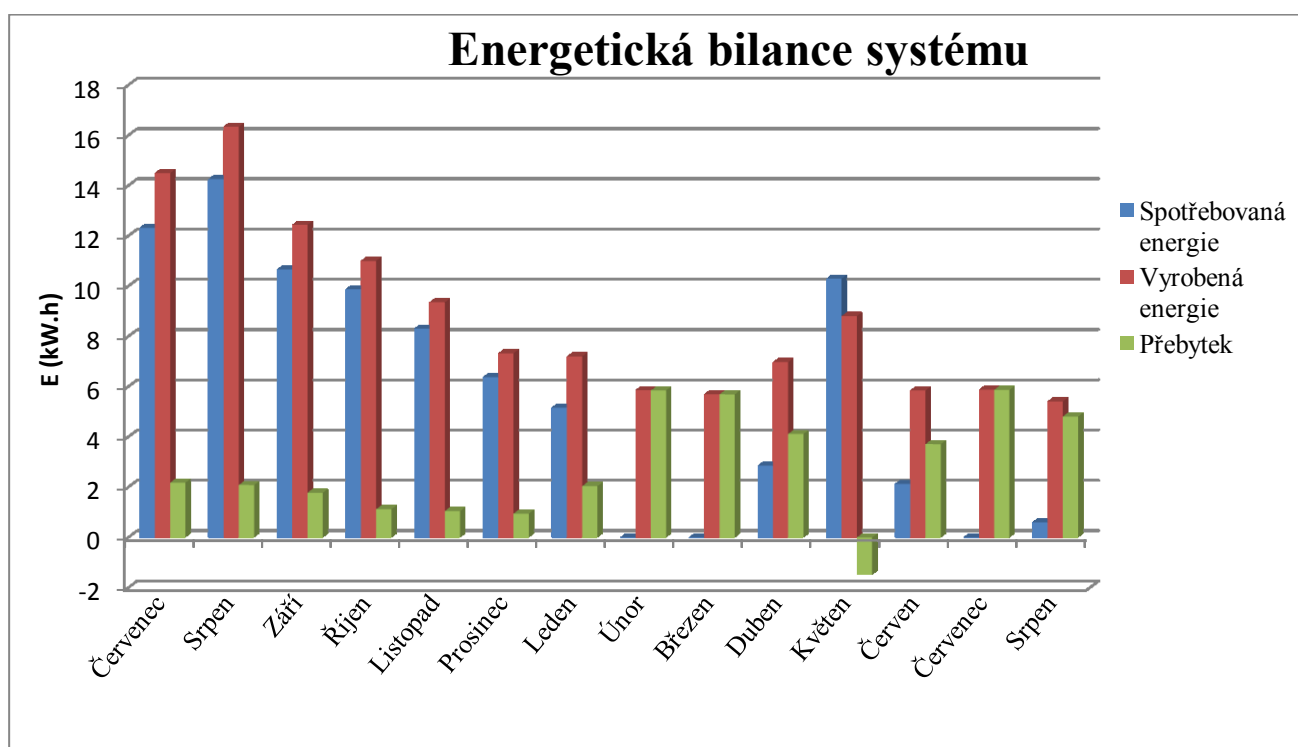
Jedná se o účinnost kaskádního spojení třífázového neřízeného usměrňovače a měniče napětíové úrovně. Výstupní napětí ze synchronního generátoru s permanentními magnety je nutné usměrnit a stabilizovat na hodnotu napětí potřebnou pro nabíjení akumulátorové baterie. Takto získaný stejnosměrný signál je nutné upravit na požadovanou hodnotu potřebnou k nabíjení baterií, proto je nutné použít i DC měnič. Výrobce uvádí účinnost okolo 81 %, která byla splněna.



Obr. 5.7 Účinnost střídače VTE2

5.5 Energetická bilance celého hybridního systému

Celková energetická bilance systému je jedním z nejdůležitějších kritérií pro hodnocení správného návrhu zdrojů. Z obr. 5.8 je patrná průměrná denní spotřeba, výroba a přebytek el. energie ve sledovaném období osmi měsíců. Je zřejmé, že výkon všech použitých zdrojů dostačuje k pokrytí spotřeby zátěže. V měsíci únoru, březnu, červenci a srpnu je zřejmé, že v hybridním systému došlo k odpojení zátěže ve formě svítidel veřejného osvětlení z důvodu poruchy a proto byl velký přebytek energie v měsíci červenci to bylo až 5,8 kW.h. Naopak v měsíci květnu výroba nestačila pokrýt spotřebu elektrické energie a to z důvodu optimalizace spotřebičů, tedy svítidel VO. V měsíci květnu došlo v systému chybělo 1,4 kW.h k plnému pokrytí zátěže.



Obr. 5.8 Celková energetická bilance hybridního systému

6 Závěr

Obnovitelné zdroje elektrické energie mají své místo v životě moderního člověka. Je ovšem zapotřebí je využívat zodpovědně a s rozvahou, ne však pro splnění indikativních cílů, jak se stalo v době minulé. Před několika málo lety musely zemědělské polnosti ustoupit investičním plánům, kvůli výstavbě megawattových fotovoltaických elektráren rozmístěných na vhodných územích, se kterými je spojena problematická dodávka energie do přenosových sítí. Vzhledem k tomuto faktu, by měly být obnovitelné zdroje elektrické energie rozmístěny decentralizovaně, a jejich vyrobenou elektrickou energii by měli spotřebovávat obyvatelé v těchto regionech. V našich zeměpisných šířkách se jako vhodný zdroj el. energie jeví využití vodních toků, větru a energie slunce.

Cílem diplomové práce bylo srovnání provozu malých hybridních systémů. V areálu Vysoké školy Báňské – Technické univerzity Ostrava byl vybudován pilotní hybridní ostrovní napájecí systém. Tento hybridní systém je využíván pro napájení svítidel veřejného osvětlení. Jedná se o ostrovní systém jehož zdroje jsou dva odlišné typy fotovoltaických panelů a dvě malé větrné elektrárny s horizontální a vertikální osou otáčení, jimiž vyrobená elektrická energie je akumulována do baterií, které napájejí během nočních hodin dvě svítidla veřejného osvětlení. Kombinace větrné elektrárny a solárního panelu je vhodná zejména proto, že tyto dva zdroje se vzájemně doplňují. V letních měsících je ve větší míře hrazena dodávka el. energie ze solárních panelů a v zimních měsících by měla být dodávka elektrické energie hrazena z větrných elektráren. Tato skutečnost je patrná z výše uvedených výsledků, fotovoltaické panely v letních měsících okolo 13 hodiny dosahují výkonu až 89,6 % a účinnosti okolo 24 %, kdežto v zimních měsících dosahuje maximální výroba 25W a účinnost se pohybuje okolo 14%. Srovnáním těchto dvou zdrojů se potvrdilo, že FV1 má dle technických parametrů maximální výkon 130W, kdežto FV2 má maximální výkon 110W.

Pro správný návrh a dimenzování jednotlivých komponent hybridního systému je třeba získat komplexní databázi meteorologických údajů. U větrných elektráren se jedná o rychlosti větru a u fotovoltaických elektráren se jedná o intenzitu slunečního záření v dané lokalitě. Jestliže nejsou tyto hodnoty k dispozici, je možné využít meteorologické databáze obsahující průměrné hodnoty rychlosti větru a intenzity dopadajícího slunečního záření pro danou lokalitu. Využitím těchto průměrných hodnot však vznikají značné chyby, ovšem provoz ukázal, že takto využití hodnoty se daly použít ke správnému nadimenzování akumulátorových baterií. Na základě výpočtu z těchto průměrovaných hodnot byly zvoleny Ni-Cd baterie o celkové kapacitě 375 Ah.

Další, přesnější postup vyhodnocení provozu hybridního systému bylo vyhodnocování pomocí dat, které byly analyzovány prostřednictvím monitorovacího systému cRIO. Celkem byly zaznamenány hodnoty za 13 měsíců provozu. Porovnávání vyrobené energie u větrných elektráren se jeví jako neobjektivní, jelikož ve sledovaném období byla na těchto zdrojích prováděna optimalizace parametrů a převážnou dobu nebyla zařízení v chodu. Optimalizace se ubírá směrem použití různých typů motorů

at' už s horizontální či vertikální osou otáčení. Volba motoru je optimalizována tak, aby k lokálním větrným podmínkám byl použit motor co možná nejvhodnější konstrukce ve spojení s generátorem energie (synchronní generátor, stejnosměrné dynamo).

Celková účinnost hybridního systému je dána jako součtem všech účinností komponent systému, tzn. účinnost větrných elektráren, fotovoltaických elektráren a účinnosti všech konverzních zařízení. Účinnosti zdrojů elektrické energie se vyhodnocují pomocí koeficientu využití. Ten ukazuje nakolik je v průběhu roku využíván instalovaný výkon zdroje. Teoretická hodnota koeficientu využití pro fotovoltaické elektrárny se pohybuje okolo 10%. Fotovoltaické články použité v tomto hybridním systému dosahují koeficientu využití FV2 6,87% a FV1 6,91 %. Pokles koeficientu využití může být způsoben špatně zvolenou lokalitou, nebo nevhodně zvoleným sklonem panelů. Účinnosti regulátoru FVE pro dobíjení akumulátorových baterií se pohybuje okolo 92 % a je dána ztrátami přeměny části energie na teplo. Účinnost třífázového můstkového střídače se pohybuje okolo 80 % a je dána účinností třífázového střídače a účinností stejnosměrného měniče nutného k dobíjení elektrické energie vyrobené větrnou elektrárnou do akumulátorové baterie, tato účinnost je

Stěžejním kritériem pro hodnocení provozu je celková energetická bilance celého hybridního systému. Z toho je patrná denní spotřeba, výroba a přebytek elektrické energie ve sledovaném období. Je zřejmé, že za běžných podmínek výkon všech zdrojů postačuje k pokrytí spotřeby zátěže.

7 Seznam použité literatury

- [1] HAU, E, E HAU a Milan TOMEŠ. *Wind turbines: fundamentals, technologies, application, economics*. 2nd [English] ed. New York: Springer, c2006, 783 s. ISBN 35-402-4240-6.
- [2] LIBRA, Martin, Vladislav POULEK a Milan TOMEŠ. *Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie*. 1. vyd. Praha: ILSA, 2009, 160 s. ISBN 978-80-904311-0-2
- [3] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. *Fotovoltaika, elektřina ze slunce: teorie i praxe využití solární energie*. 2. vyd. Brno: ERA, 2008, 81 s. ISBN 978-80-7366-133-5

Internetové zdroje

- [4] Ostrovní systémy, off-grid. [online]. [cit. 2012-30-04]. Dostupné z: <http://www.solarenavi.cz/slunecni-elektrarny/typy-instalaci/off-grid/>
- [5] Větrné elektrárny. Spvez [online]. [cit. 2012-30-04]. Dostupné z: <http://www.spvez.cz/pages/vitr.htm>
- [6] Ministerstvo životního prostředí. [online]. 2012 [cit. 2012-30-04]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodicky_pokyn_aspekty_elektrarny/\\$FILE/OPK-priloha1-20080908%20jpg.jpg](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodicky_pokyn_aspekty_elektrarny/$FILE/OPK-priloha1-20080908%20jpg.jpg)
- [7] Asola.cz. *Asola.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-30-04]. Dostupné z: <http://www.asola.cz/?rubrika=2>
- [8] Solarco CZ. *Solarco CZ* [online]. 2012 [cit. 2012-30-04]. Dostupné z: http://www.solar-co.cz/wp-content/uploads/2011/02/fotovoltaika_nahled-640x250.png
- [9] Learning from Nature: Delivering Today's Global Solar Technology News, Today. *Solarnovus.com* [online]. 2012 [cit. 2012-30-04]. Dostupné z: http://www.solarnovus.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1598:learning-from-nature-dye-sensitized-solar-cells&catid=38:application-tech-features&Itemid=246
- [10] Historie a perspektivy OZE - fotovoltaika, méně rozšířené technologie. *Oze.tzb-info.cz* [online]. 2009 [cit. 2012-30-04]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5517-historie-a-perspektivy-oze-fotovoltaika-mene-rozsirene-technologie>
- [11] NASA Surface meteorology and Solar Energy [online]. 2011-[cit. 2011-02-16] Available from: <http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?&step=1&submit=Submit>

